

水平風レンズ付き 垂直軸風車の開発

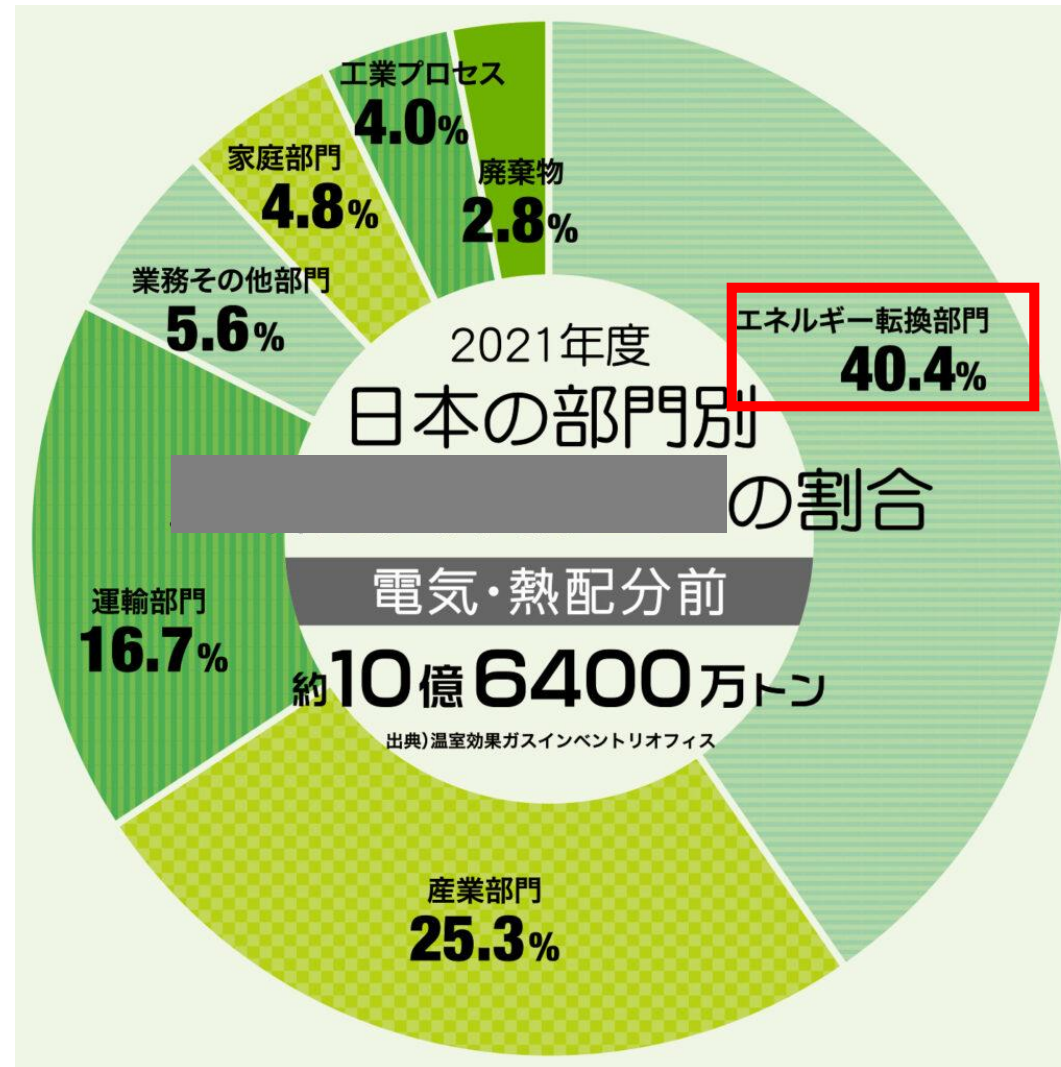
京都府立桃山高等学校
グローバルサイエンス部
エネルギー班
藤範翔 若菜朝陽

1. 研究に至るまでの経緯
2. 集風装置の位置と風車性能
3. 集風装置の風に対する角度と風車性能
4. 集風装置の形状と風車性能

1. 研究に至るまでの経緯
2. 集風装置の位置と風車性能
3. 集風装置の風に対する角度と風車性能
4. 集風装置の形状と風車性能

はじめに

この円グラフが何を表しているかわかりますか？



全国地球温暖化防止活動推進センターwebページより
(出典：温室効果ガスインベントリオフィス)

低風速とはいえ風があるならば
風を利用して地球温暖化を防ぐべき



低風速の地域で効率よく発電できる風車を開発する

目的を達成すると...

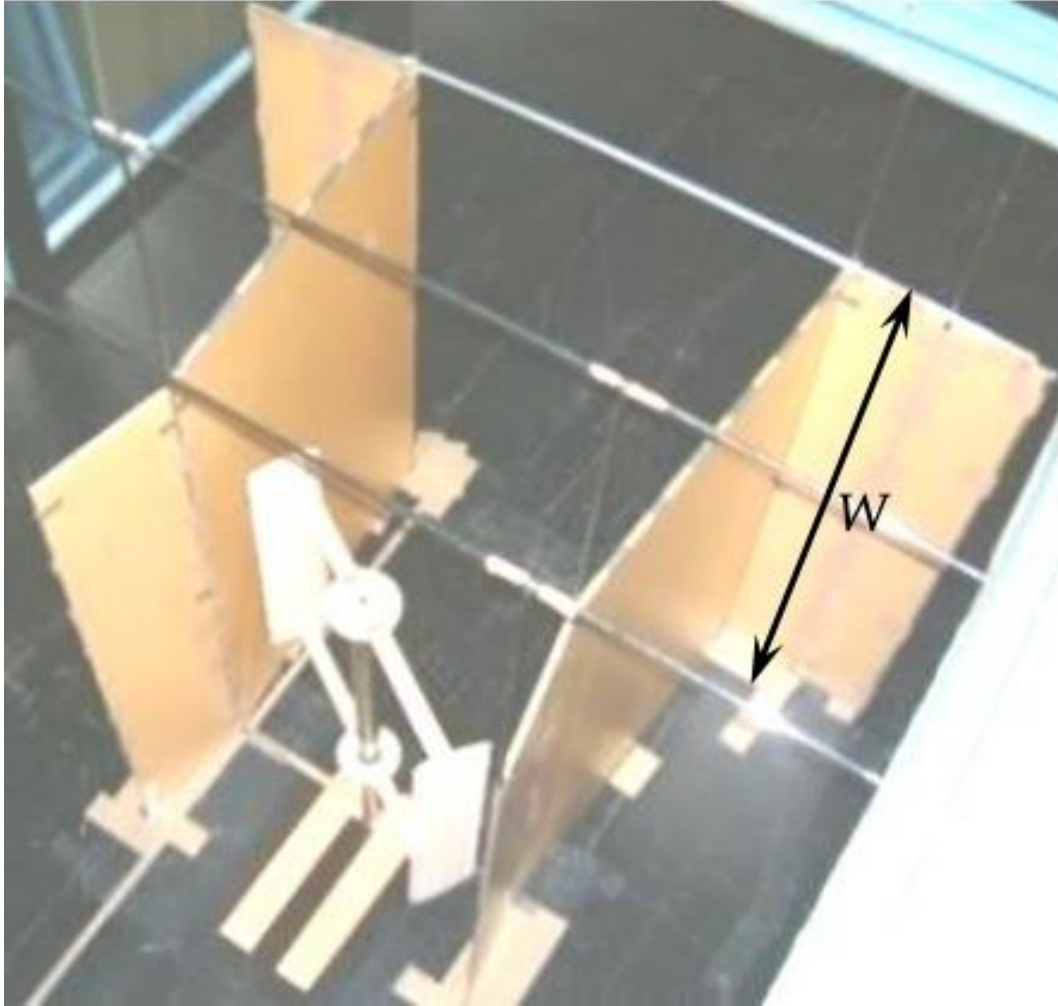
→ **エネルギー政策の基本である『S+3E』の達成に近づける**

垂直軸型風車に集風装置をつける



実用化されている集風装置をつけた風車

先行研究と私たちのアイデア



研究が行われているのは集風装置を
左右につけた垂直軸型風車

先行研究と私たちのアイデア

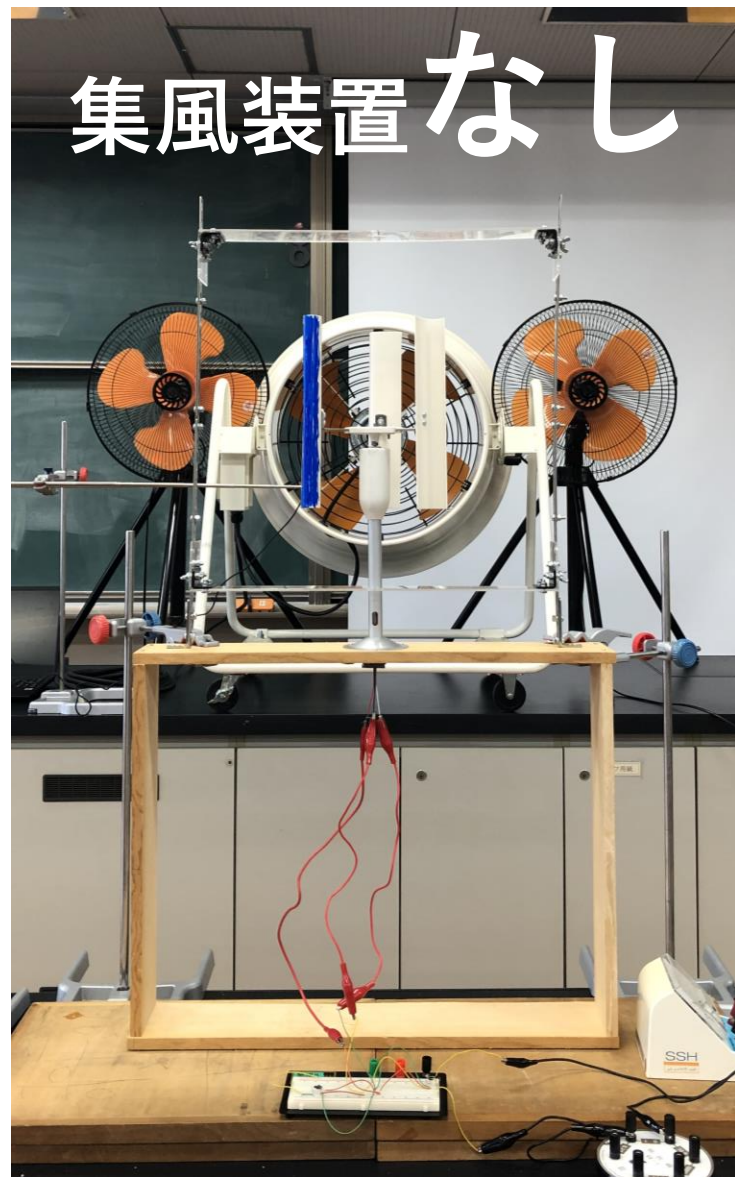


私たちが開発したのは集風装置を
上下につけた垂直軸型風車
(水平風レンズ付き垂直軸風車)

1. 研究に至るまでの経緯
2. 集風装置の位置と風車性能
3. 集風装置の風に対する角度と風車性能
4. 集風装置の形状と風車性能

比較対象

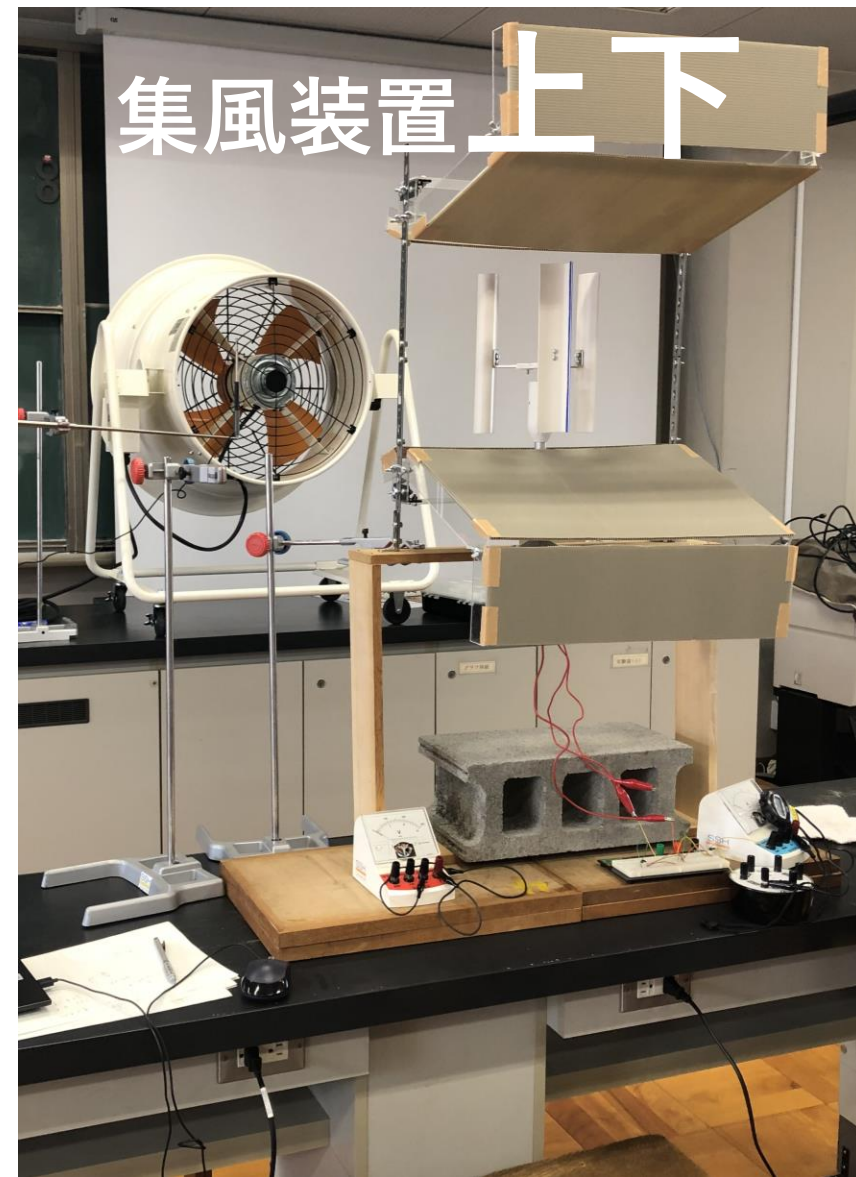
集風装置なし



集風装置左右



集風装置上下



(写真では送風機の配置が異なるが、実験では送風機の配置を統一した)

実験におけるパワー係数の算出方法

$$C_p = \frac{P}{0.5\rho AU^3}$$

- C_p …パワー係数
- P …発電量（電流の二乗と抵抗の積で算出・1秒ごとの値の平均）
- ρ …空気密度（気温と大気圧を考慮して算出）
- A …受風面積（翼が回転することによりできる円柱の側面積）
- U …風速（1秒ごとの値の平均）

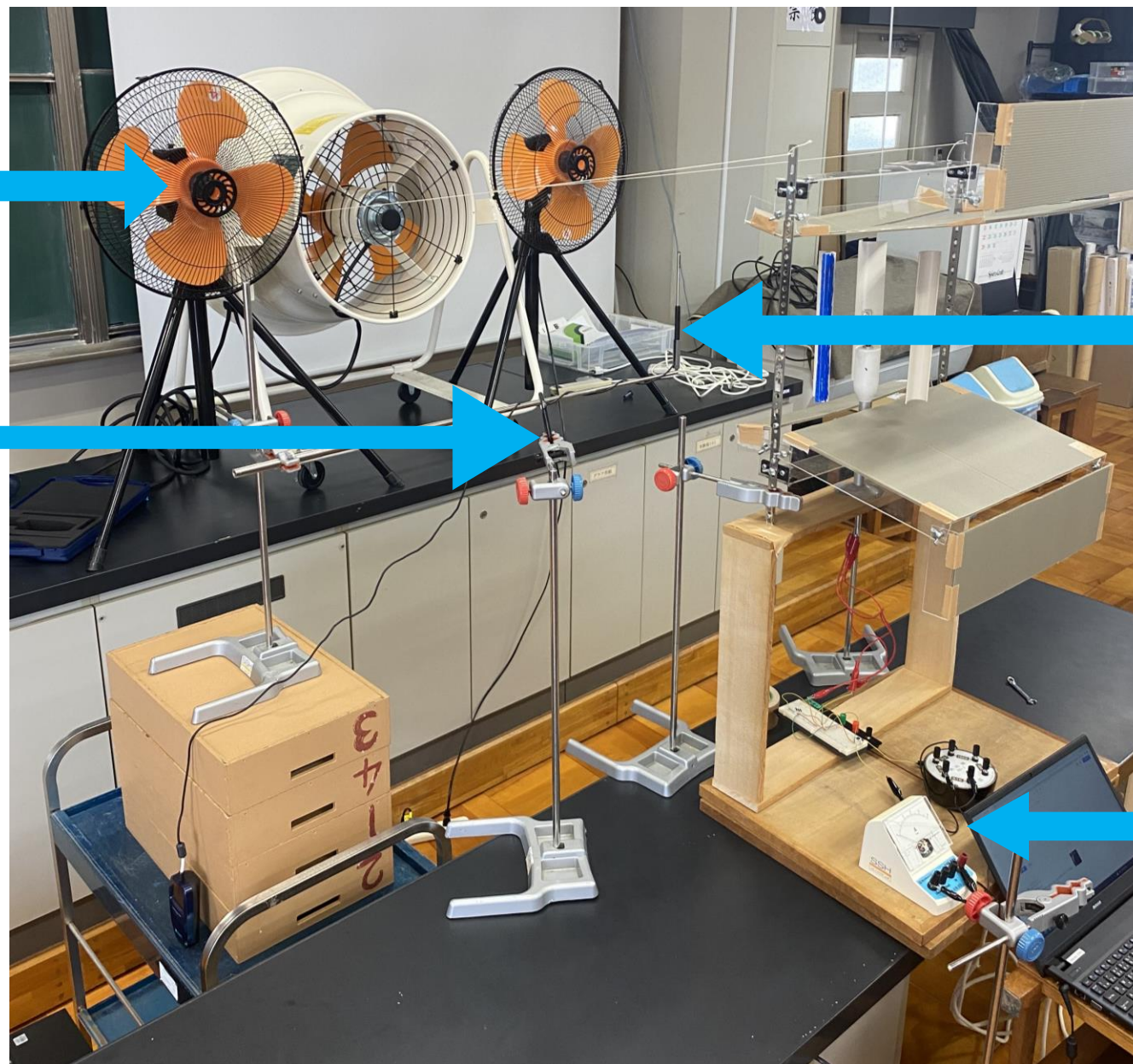
実験の手法

送風機

風速計

回転数測定用カメラ

電流計・抵抗器



実験に使用した機器



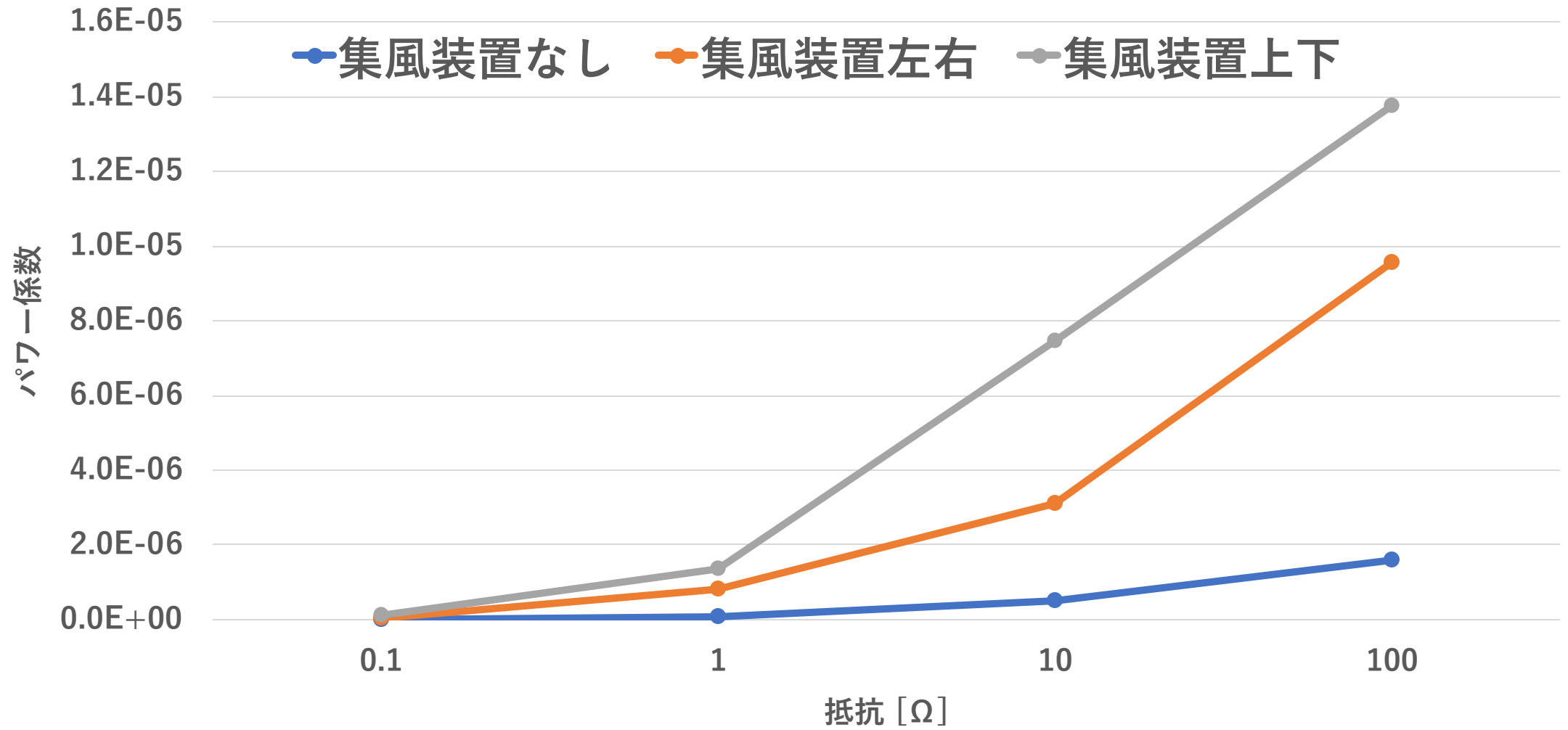
風速計

- 株式会社 KANOMA
「ANEMOMASTER LITE
MODEL6006-D0」

送風機

- 株式会社 スイデン 「こでかファン SJF-504A-1」 (右上)
- アイリスオーヤマ株式会社 工業用
扇風機 三脚型 KF-431S (右下)

結果



集風装置の**位置**の違い



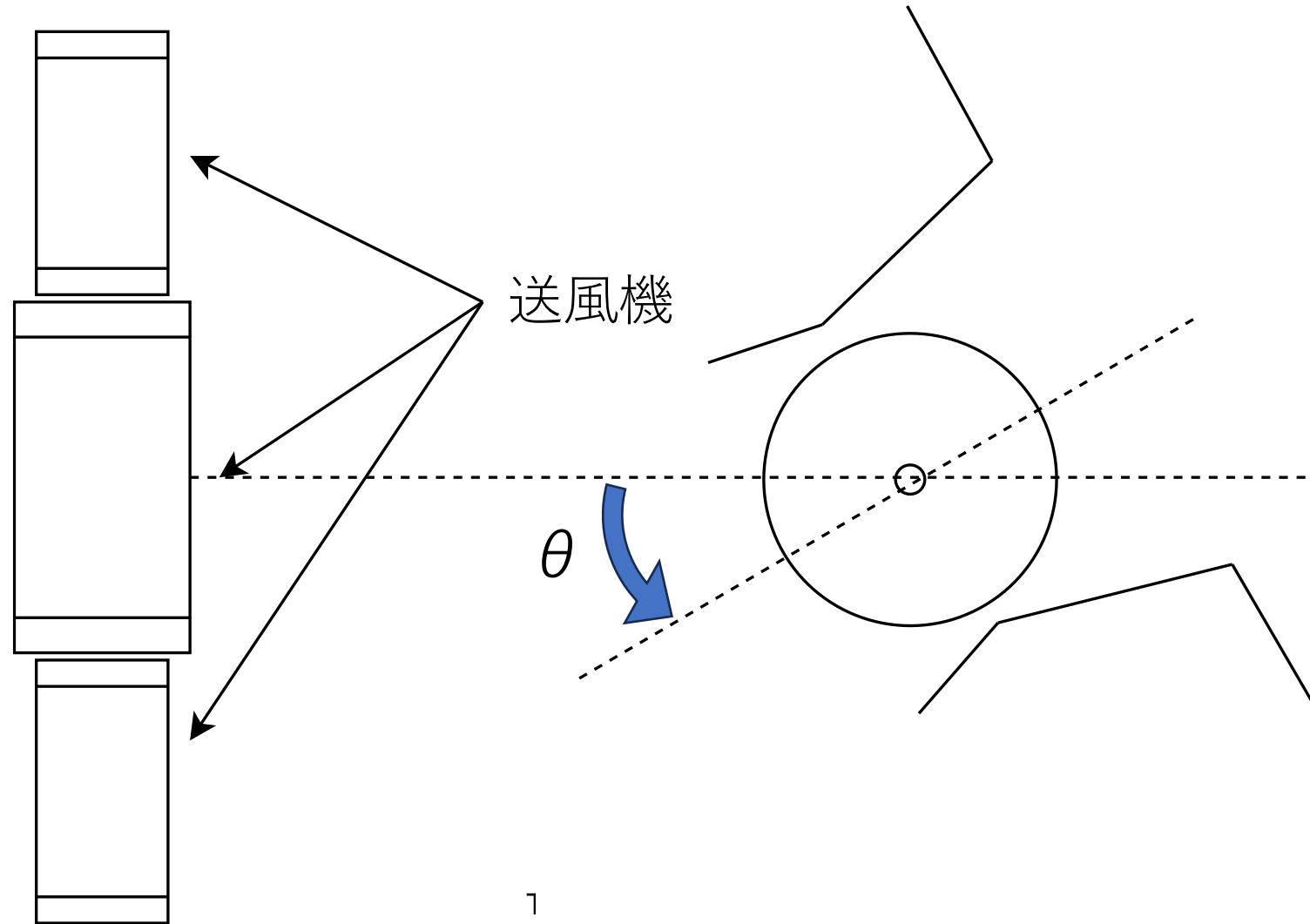
集風装置とブレードの相互的な
干渉の程度の違い

集風装置を**上下**につけた風車

集風装置を**左右**につけた風車

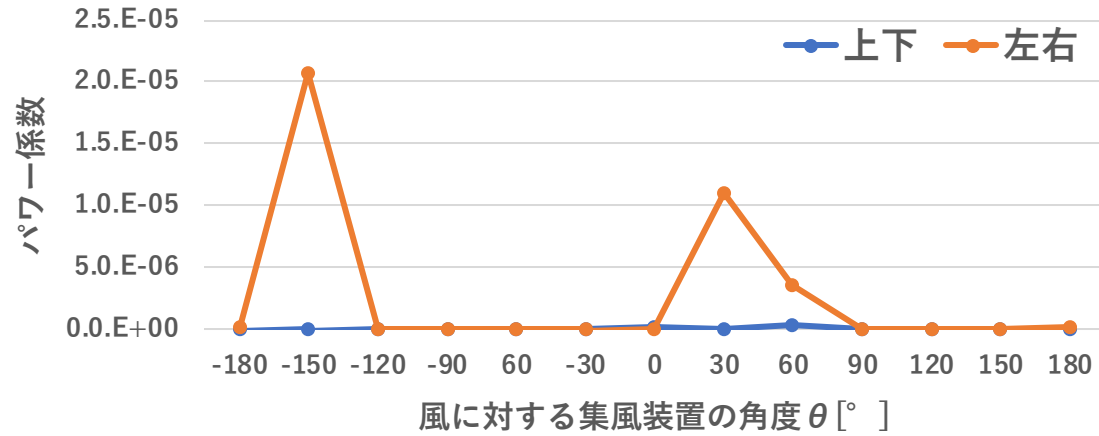
1. 研究に至るまでの経緯
2. 集風装置の位置と風車性能
3. 集風装置の風に対する角度と風車性能
4. 集風装置の形状と風車性能

角度の設定

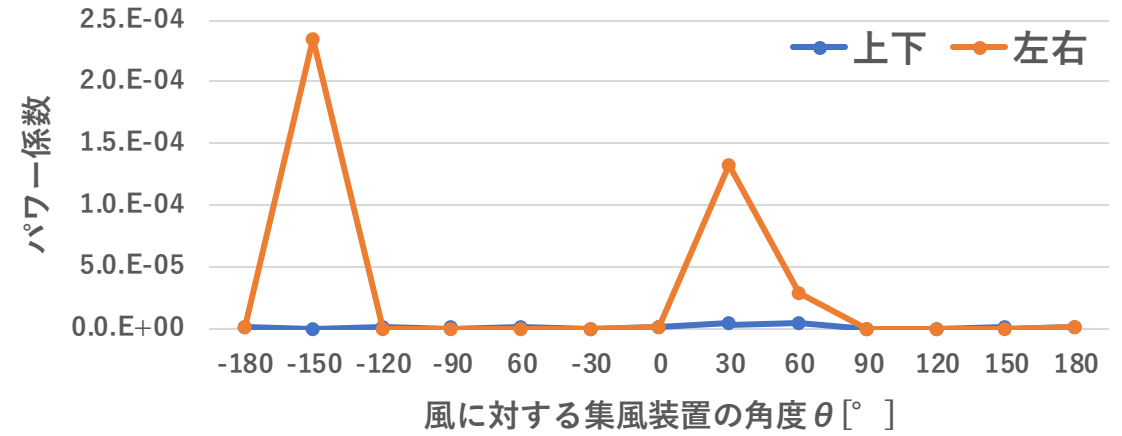


結果 (抵抗別)

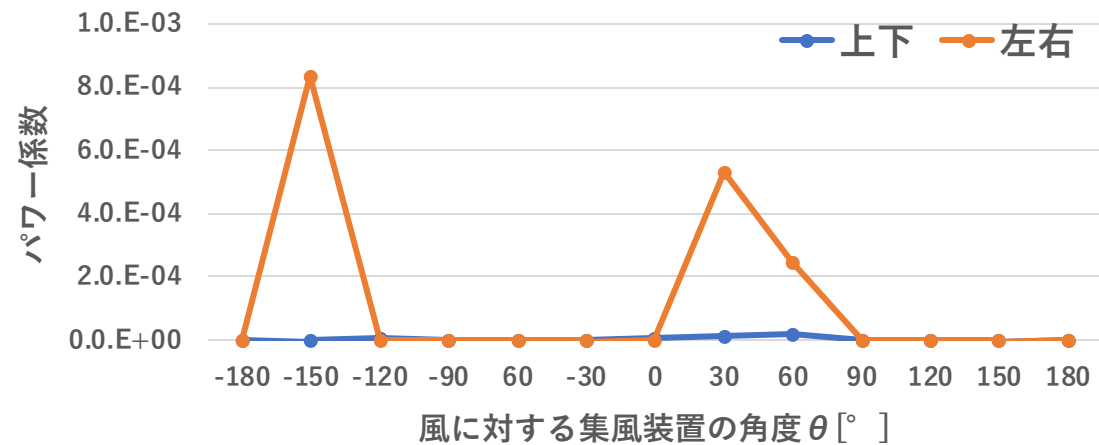
0.1Ω



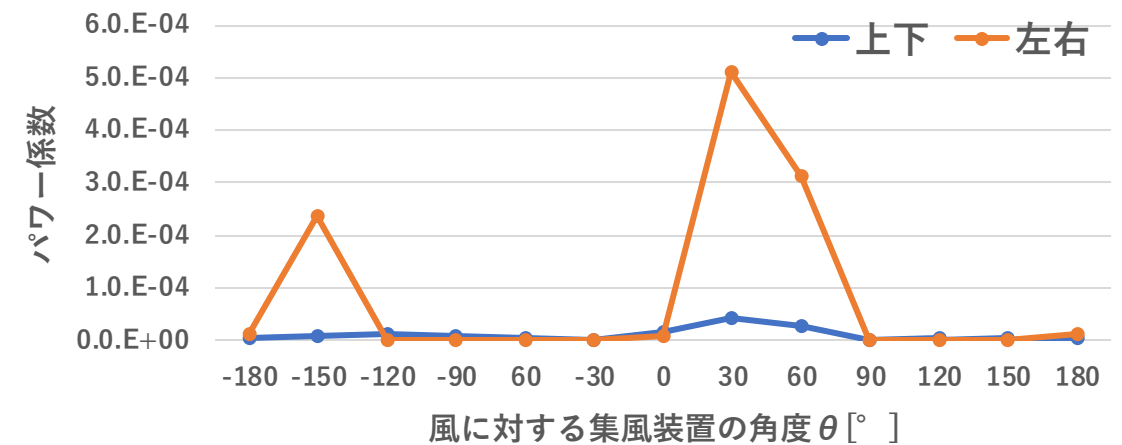
1Ω



10Ω

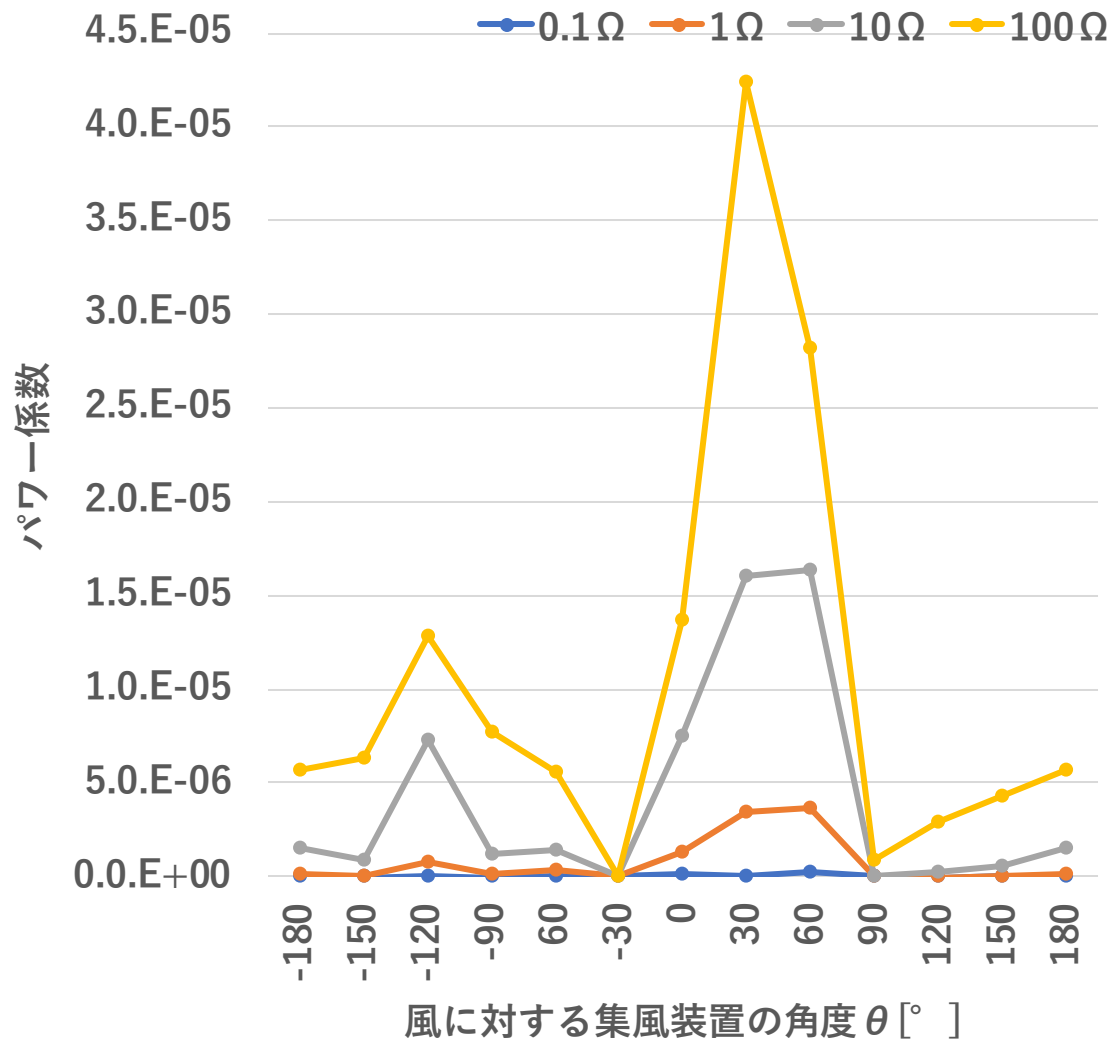


100Ω

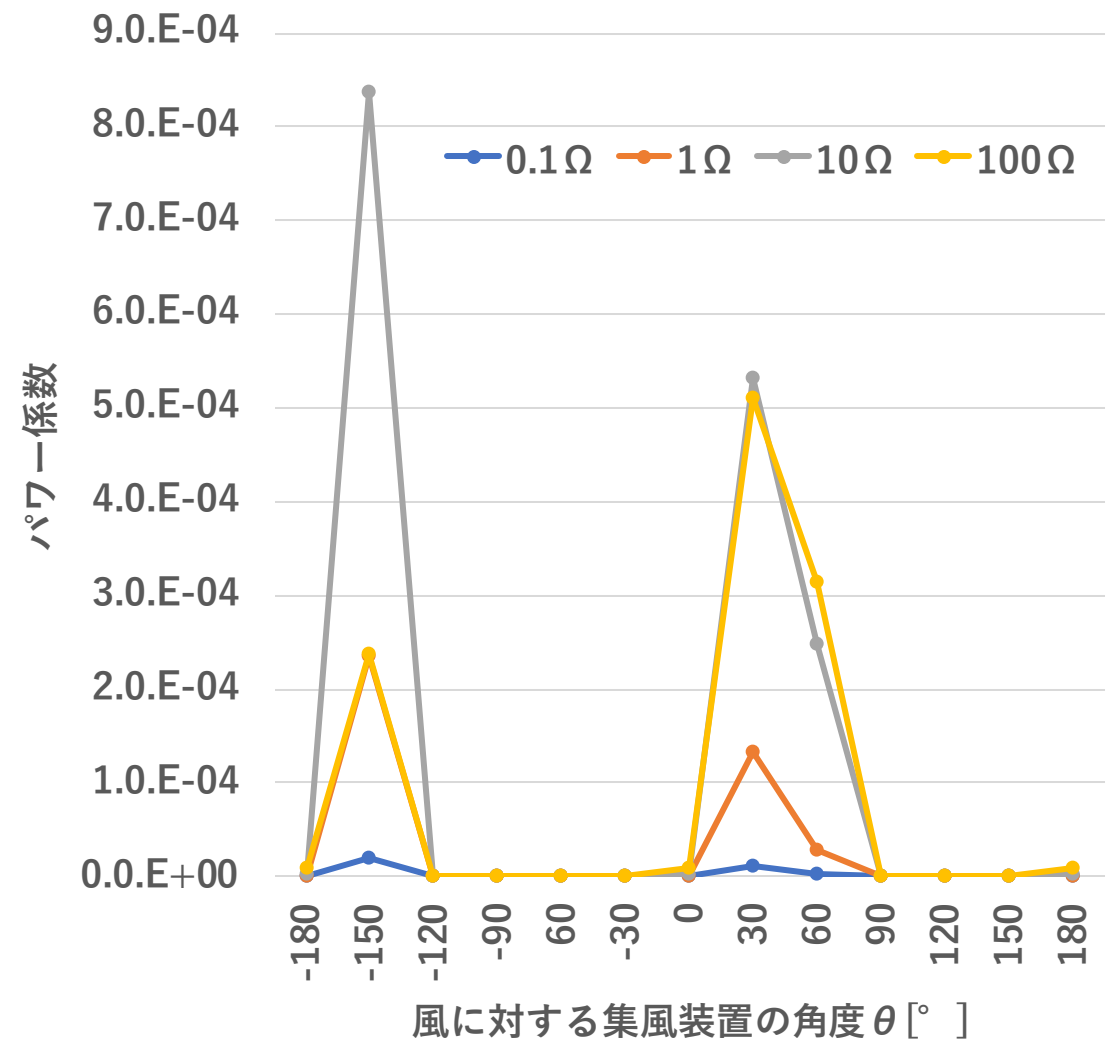


結果（集風装置の位置別）

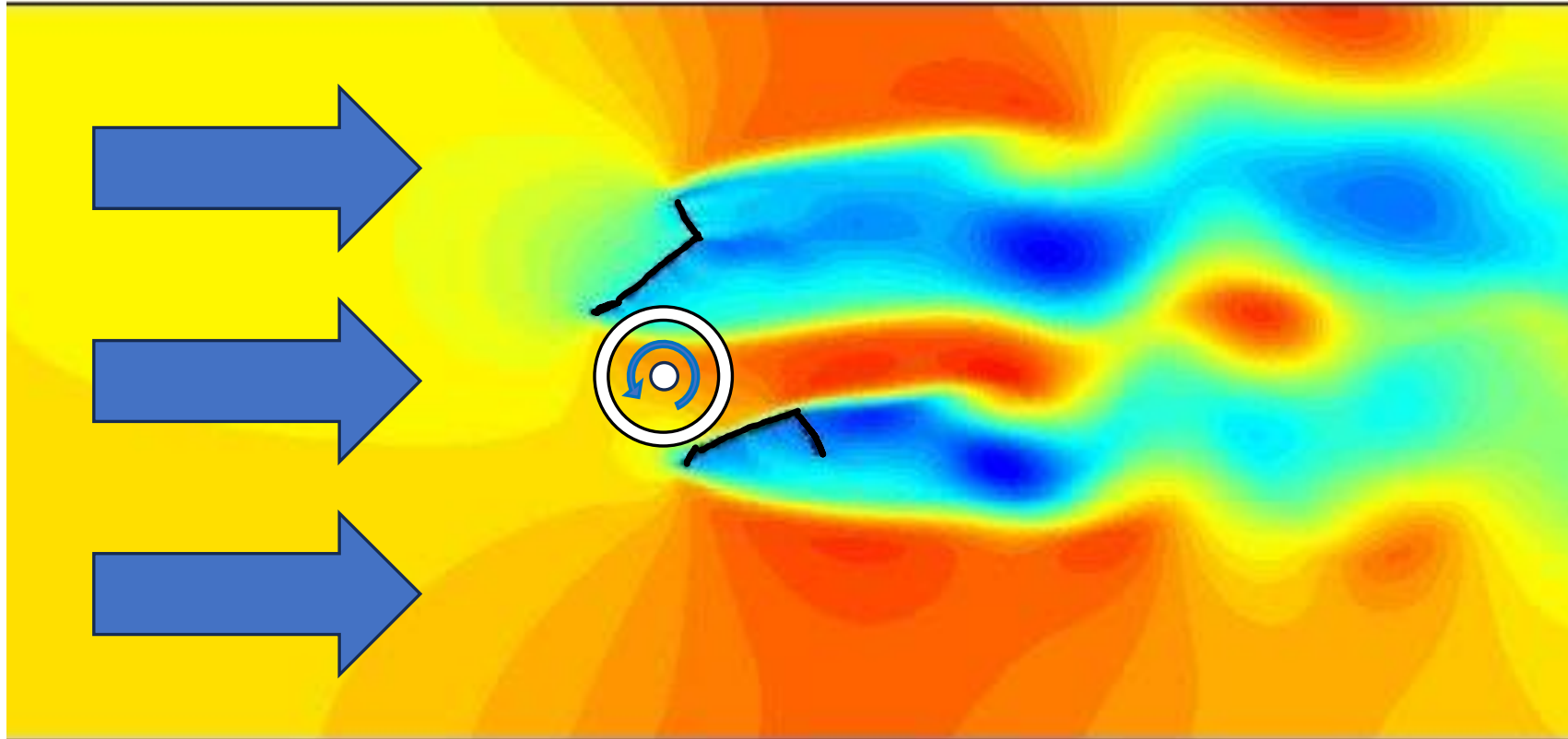
集風装置上下



集風装置左右

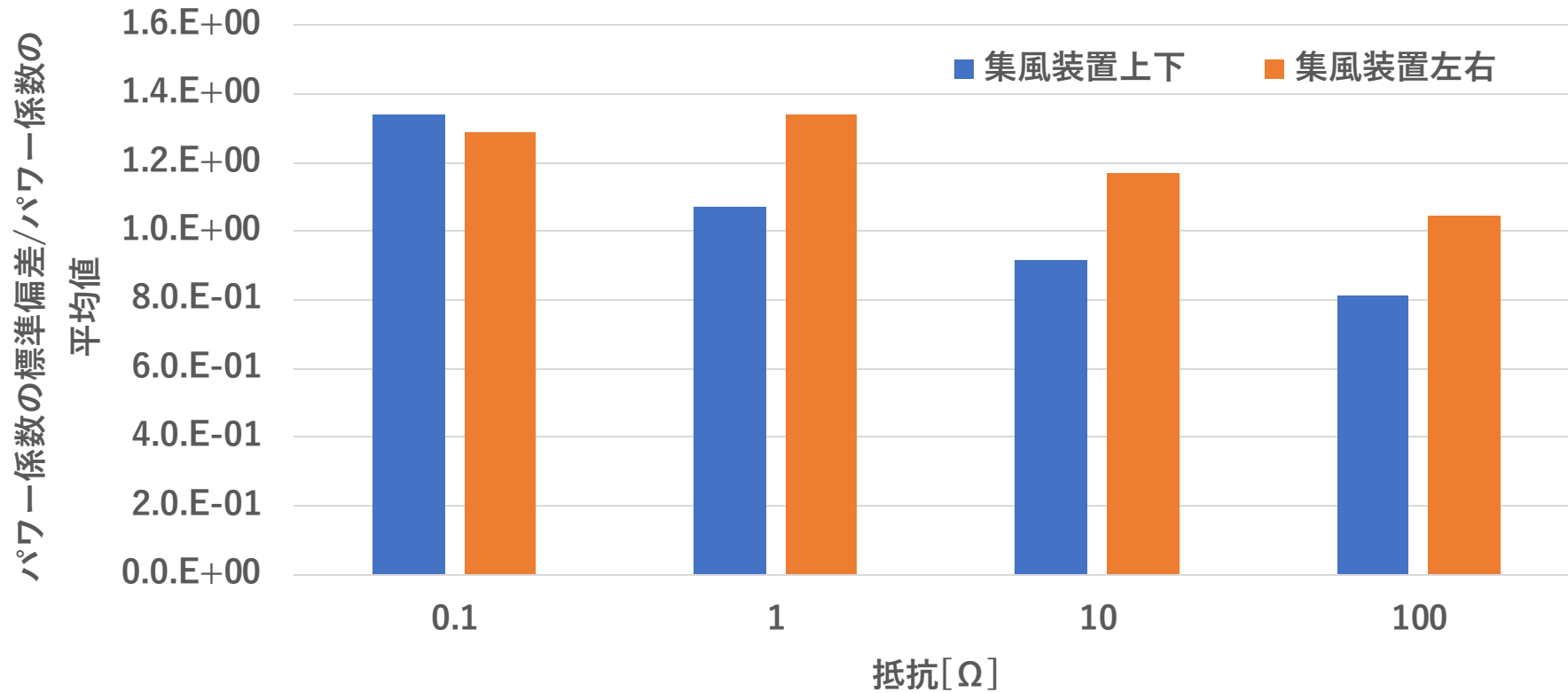


集風装置による**接近風速**の変化
→特定の角度におけるパワー係数の増加



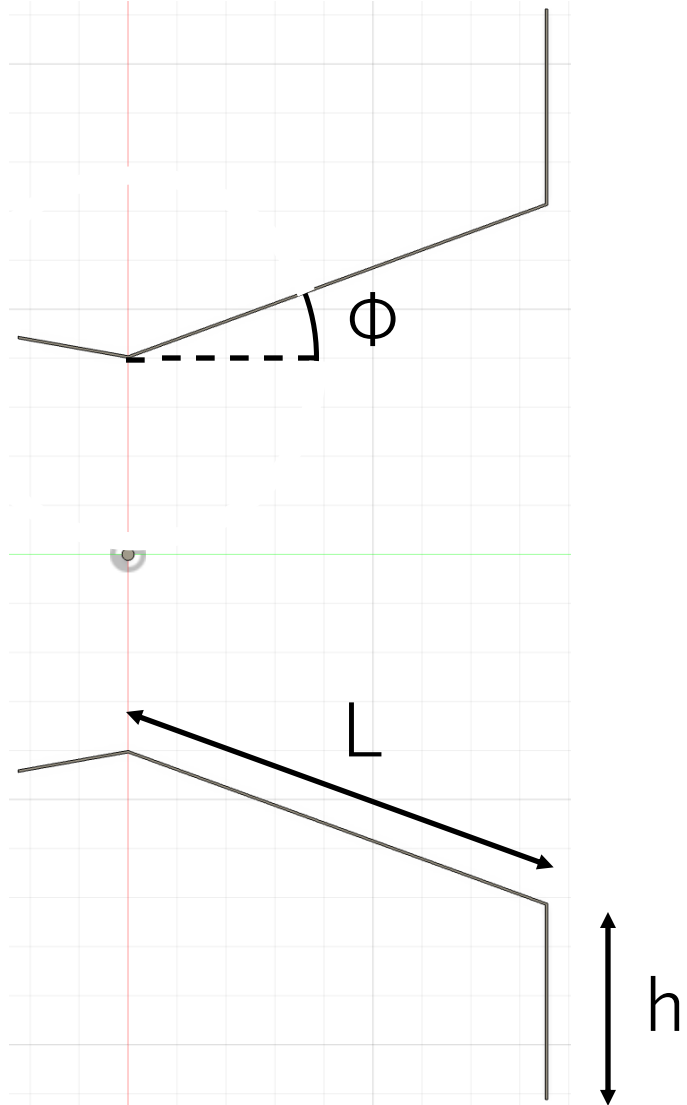
集風装置をつけた風車周りの流速分布（集風装置左右、 $\theta = 30^\circ$ ）

集風装置と風車の相互的な**干渉**の程度の違い
→角度によるパワー係数のばらつきの違い



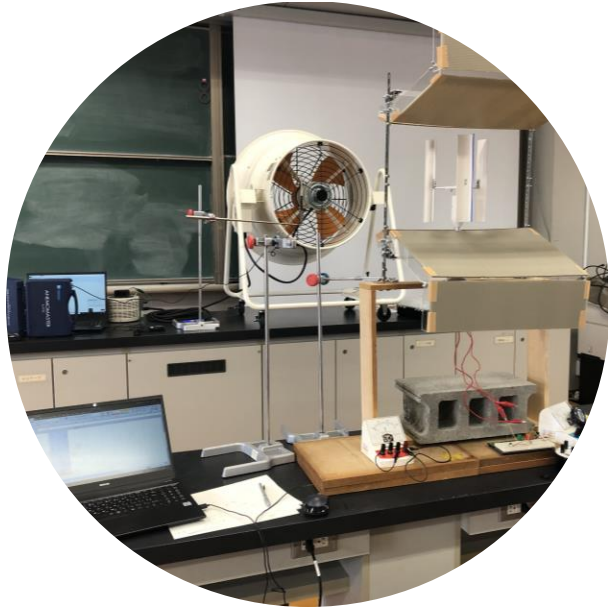
(集風装置左右のパワー係数が0になる角度の値は除く)

1. 研究に至るまでの経緯
2. 集風装置の位置と風車性能
3. 集風装置の風に対する角度と風車性能
4. 集風装置の形状と風車性能

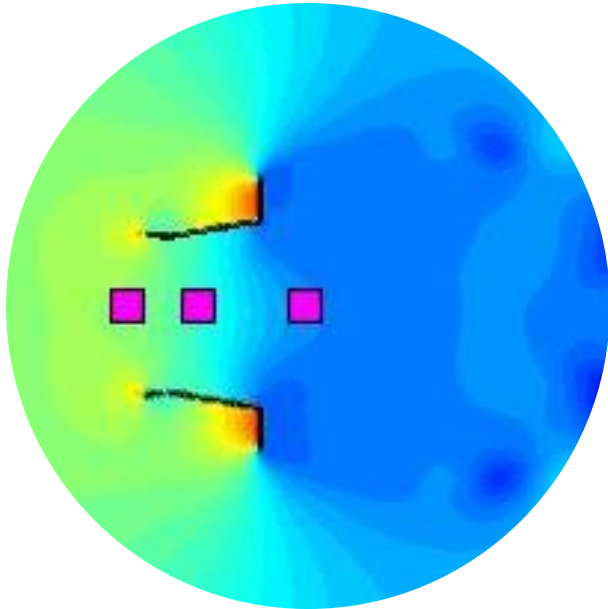


$\phi \cdot h \cdot L$ の値を変えて
パワー係数を比較する

パワー係数の比較方法



実験による
パワー係数の測定



シミュレーションによる
最大パワー係数の予測

パワー係数の
大小比較

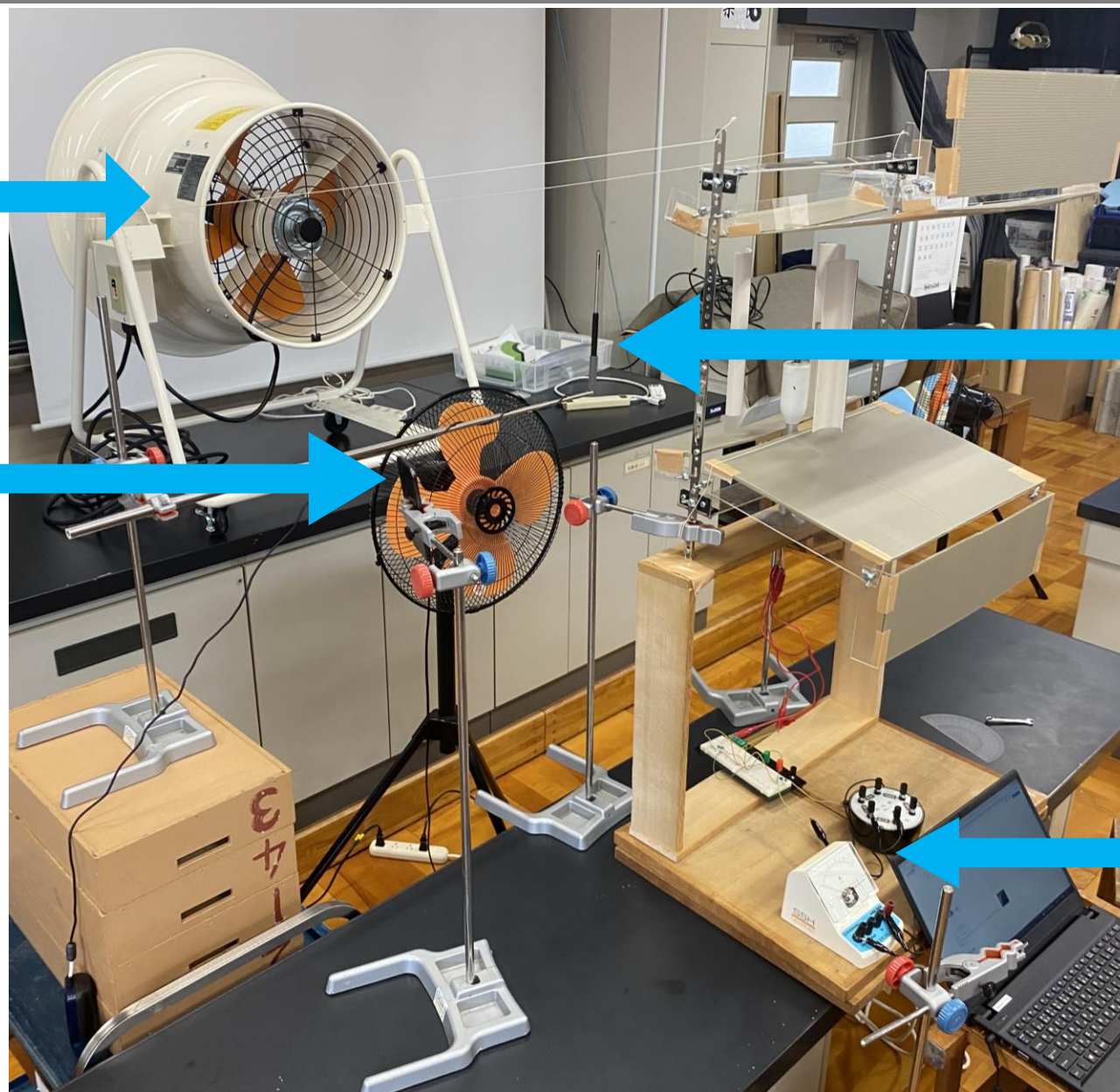
実験の手法

送風機

風速計

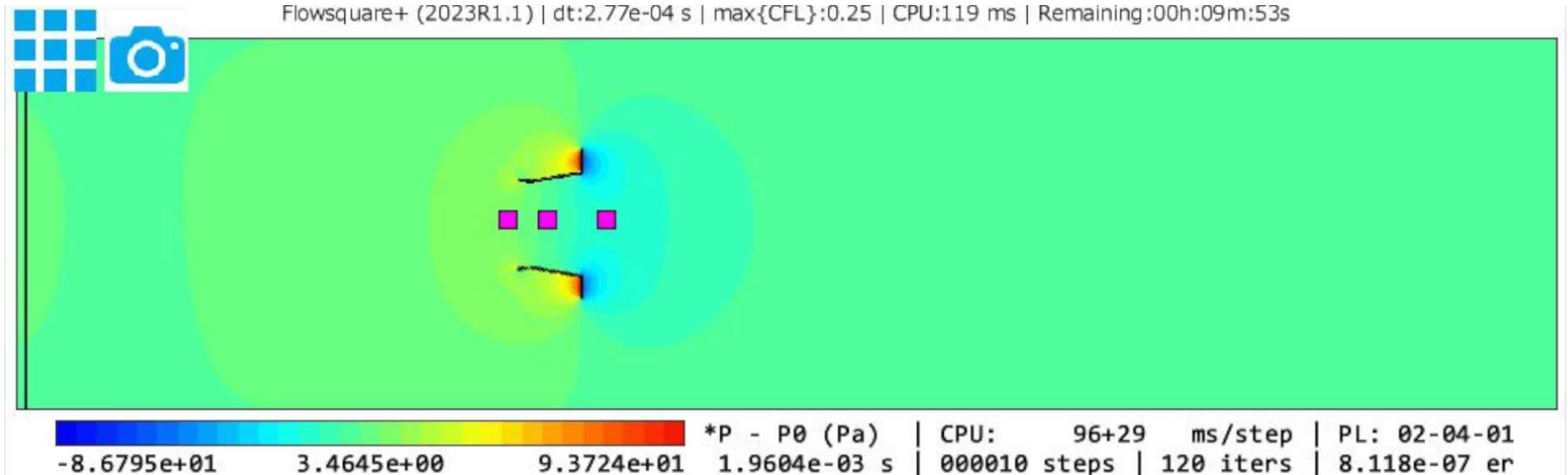
回転数測定用カメラ

電流計・抵抗器

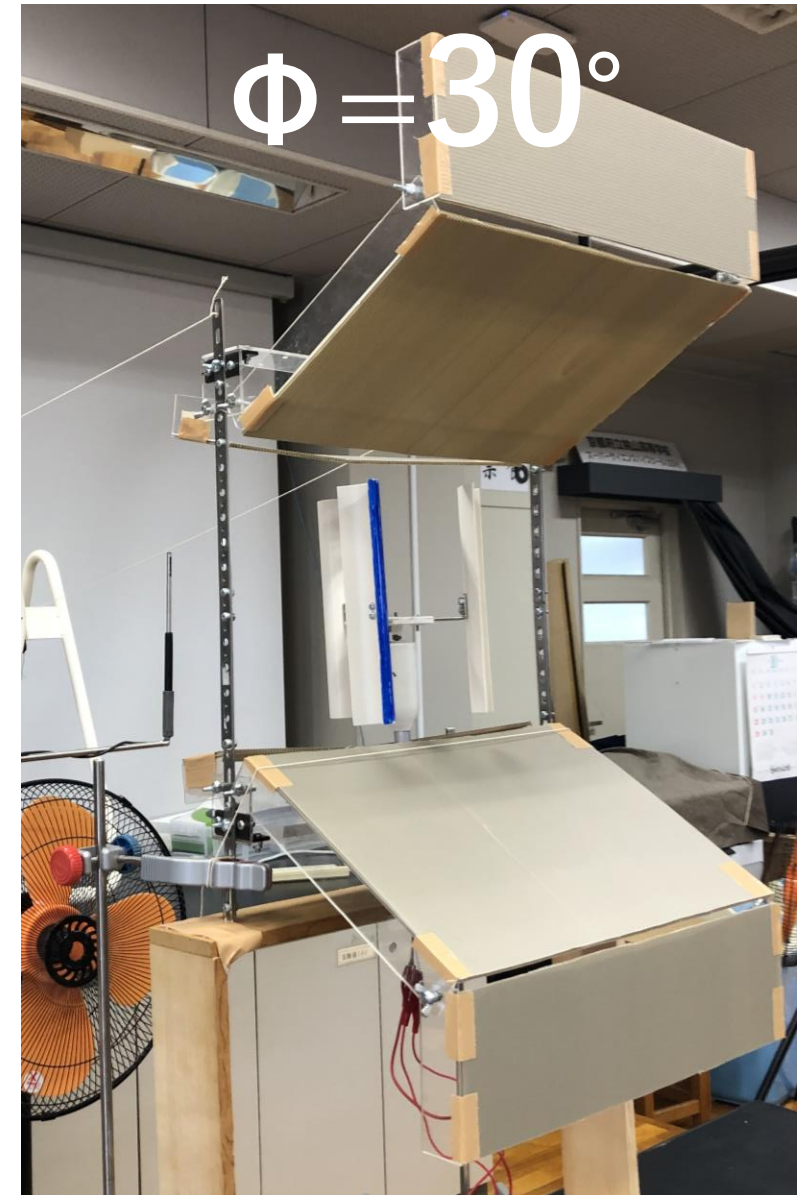


シミュレーションの手法

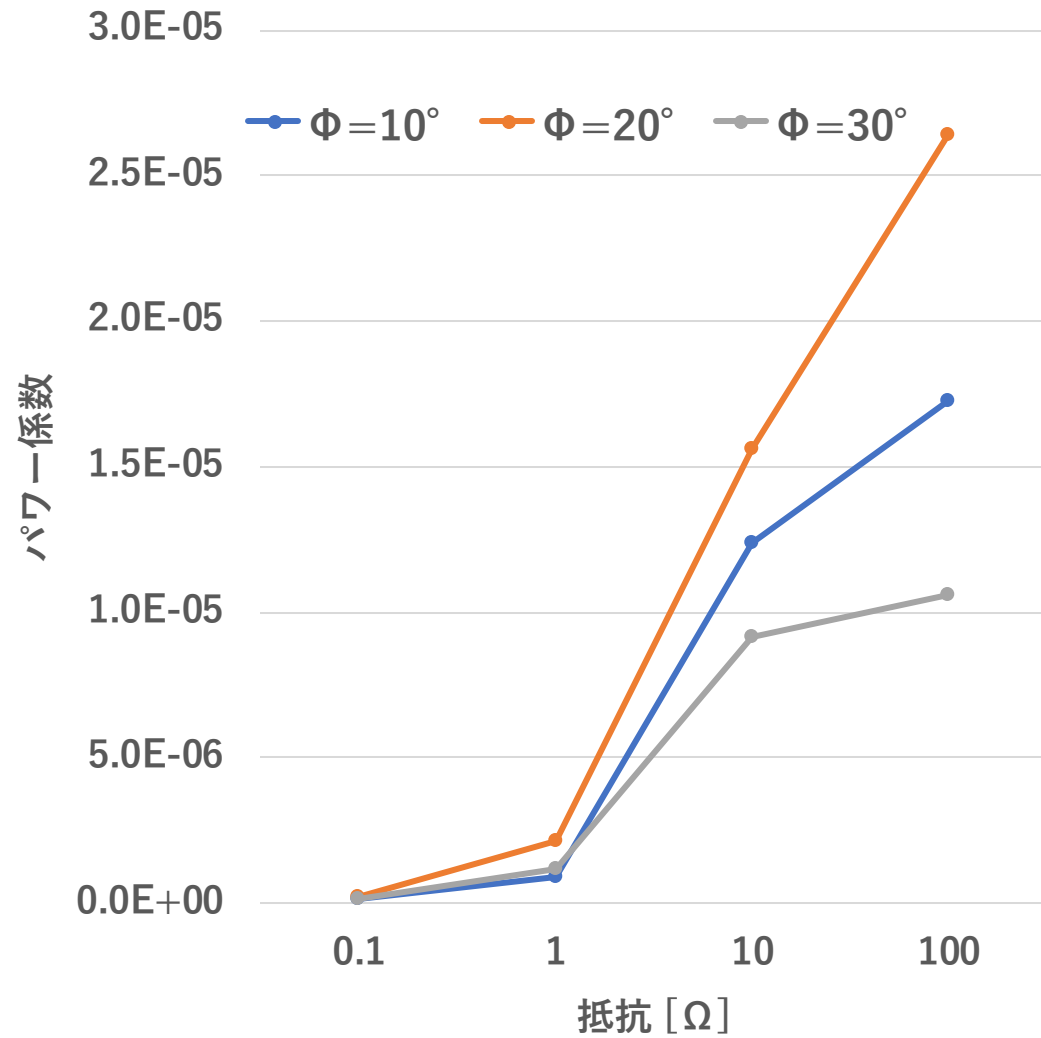
渡邊（2021）の性能予測理論を垂直軸型風車用に変形し、Flowsquare+を用いて最大パワー係数の数値予測を行った



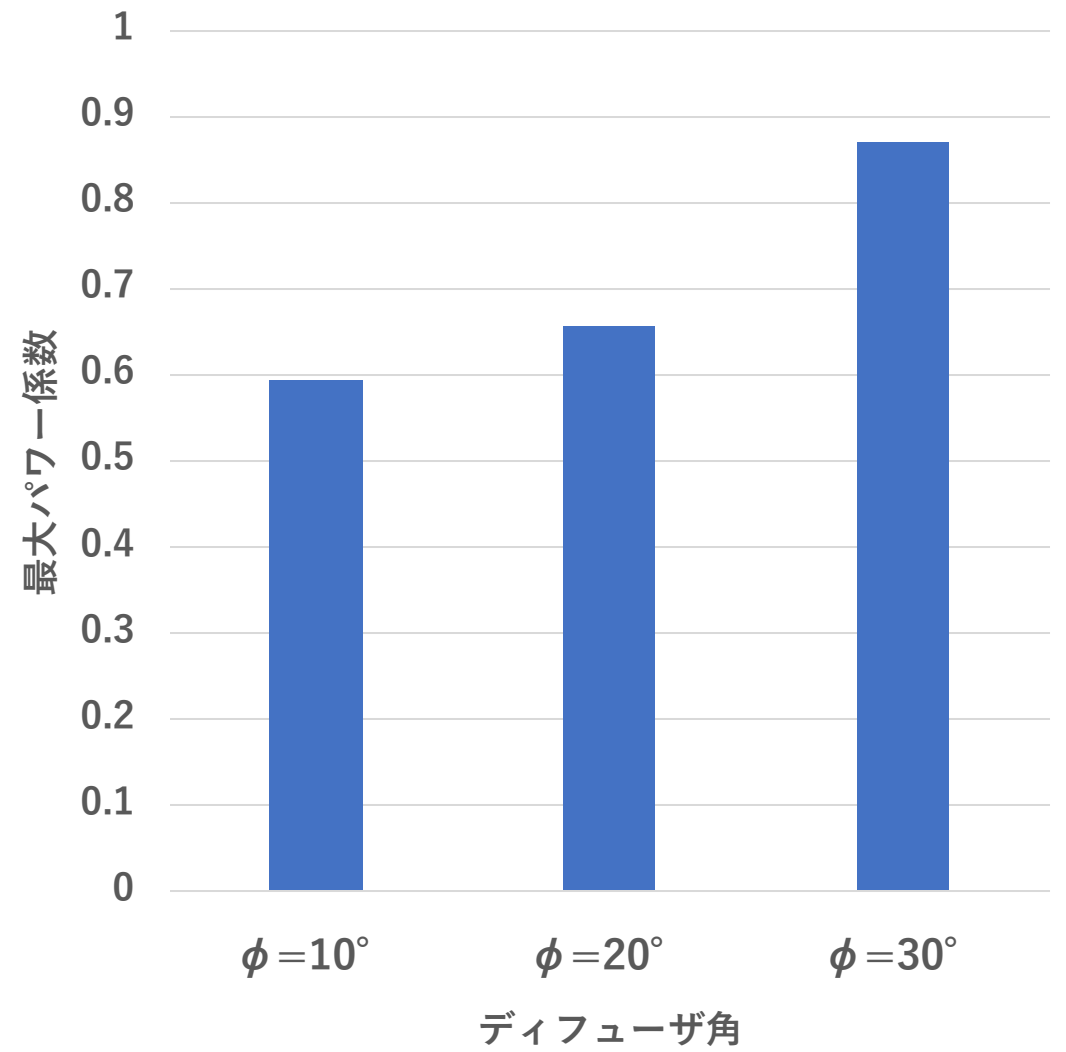
比較①ディフューザ角 ϕ



結果① ディフューザ角 ϕ の影響

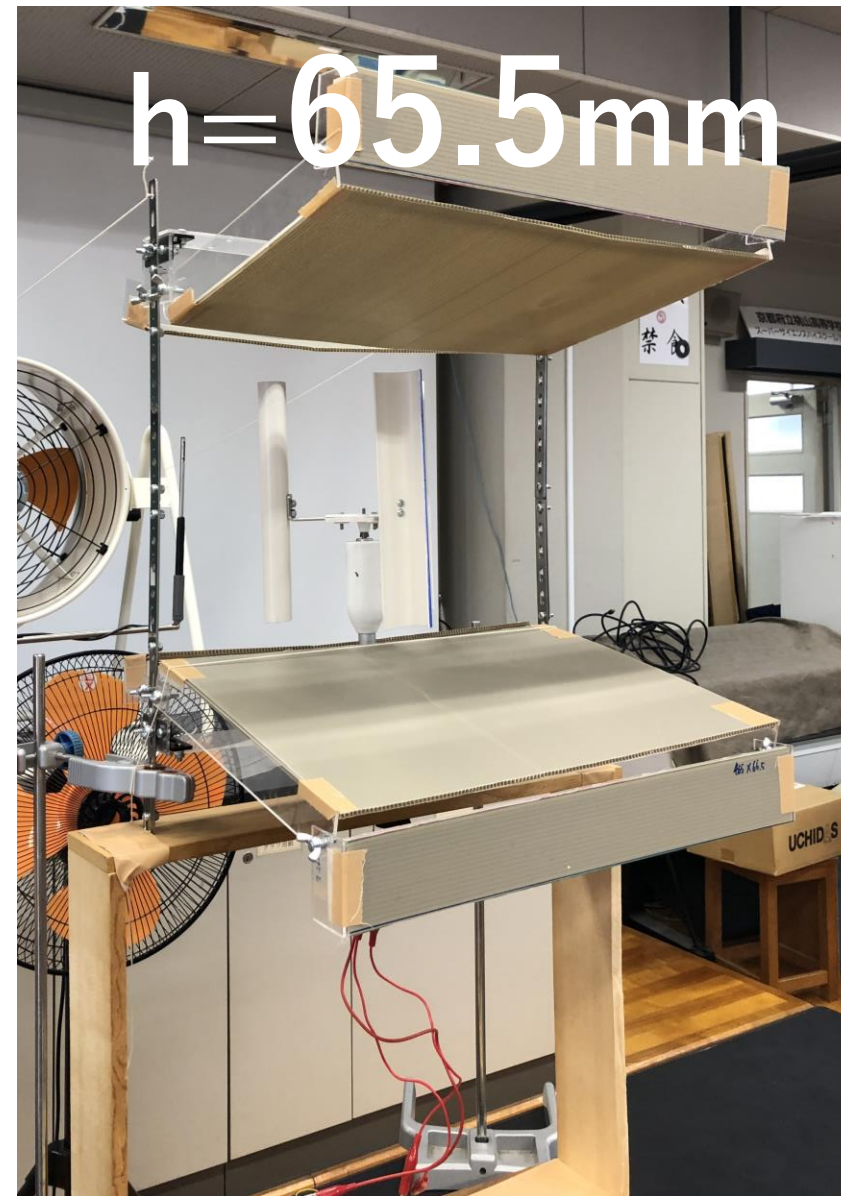


実測値

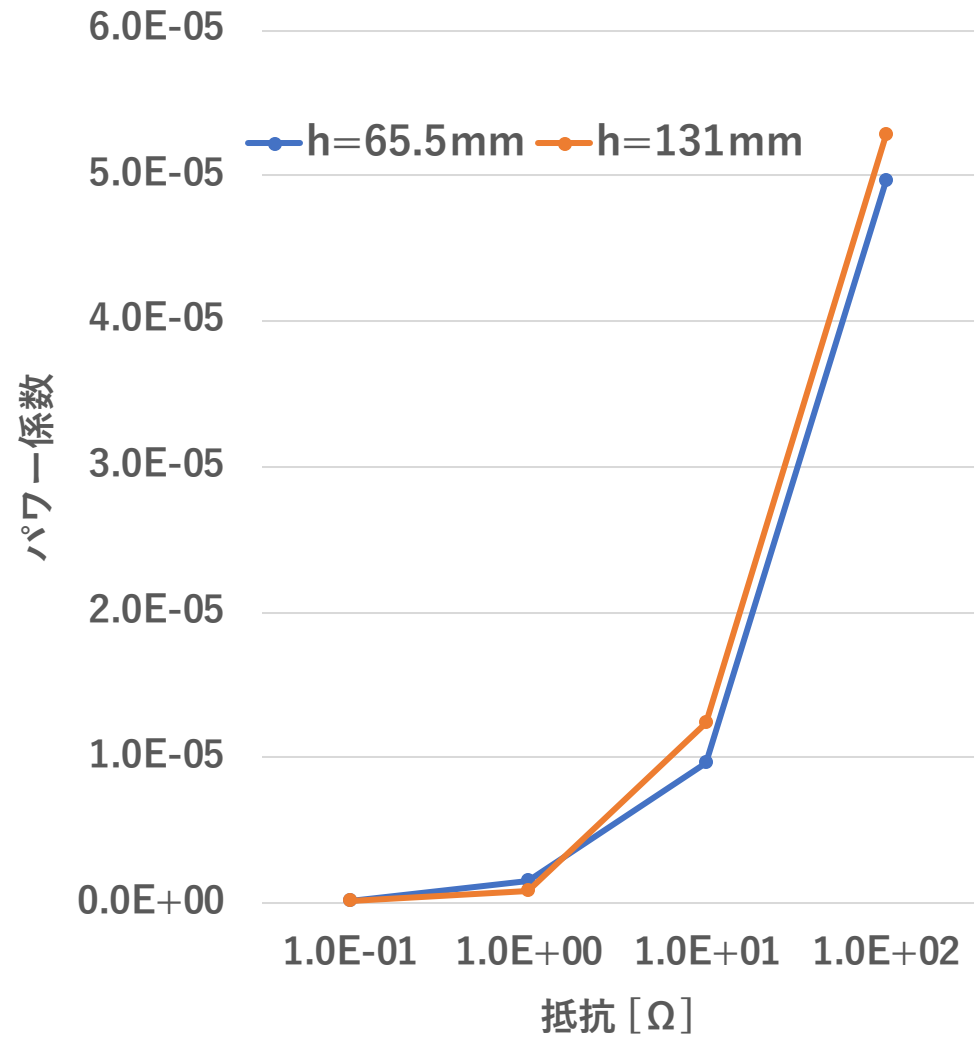


予測値 (平均)

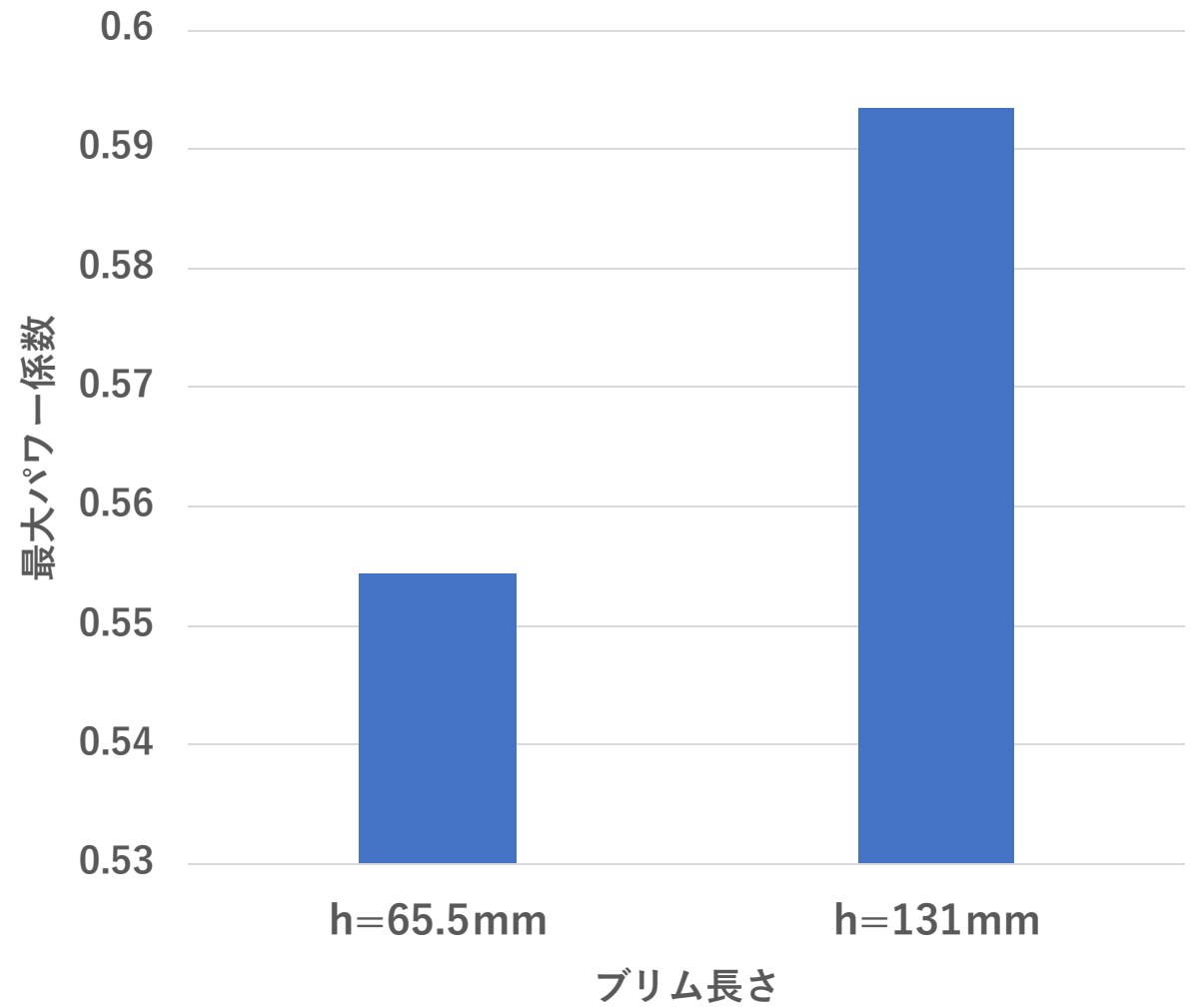
比較②ブリム長さh



結果②hの影響

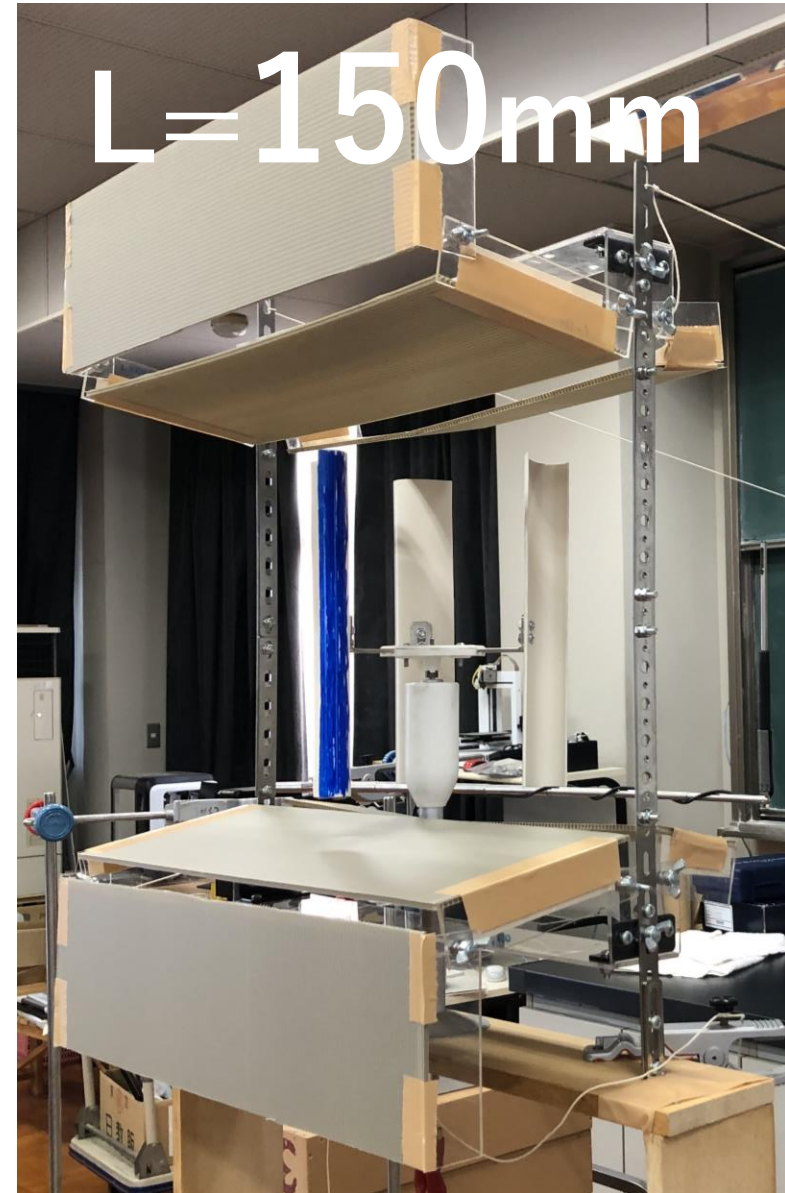


実測値

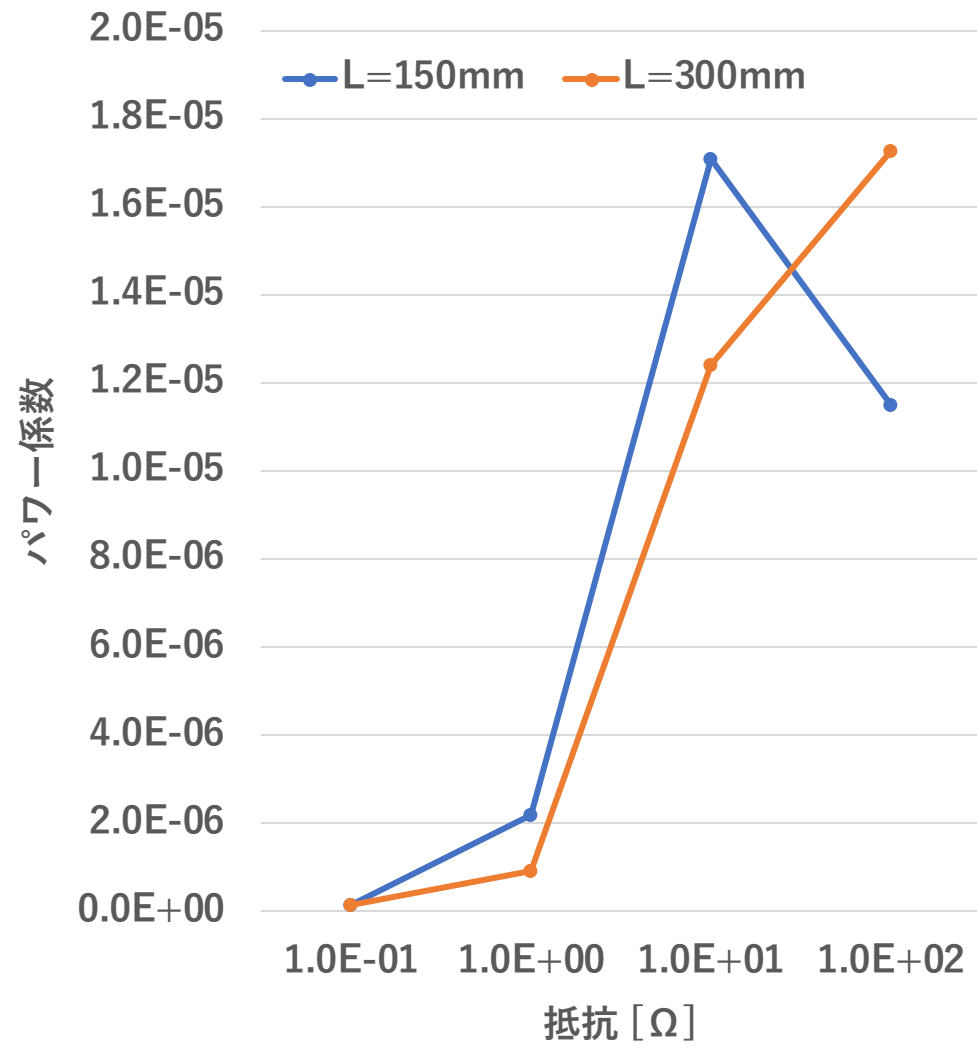


予測値 (平均)

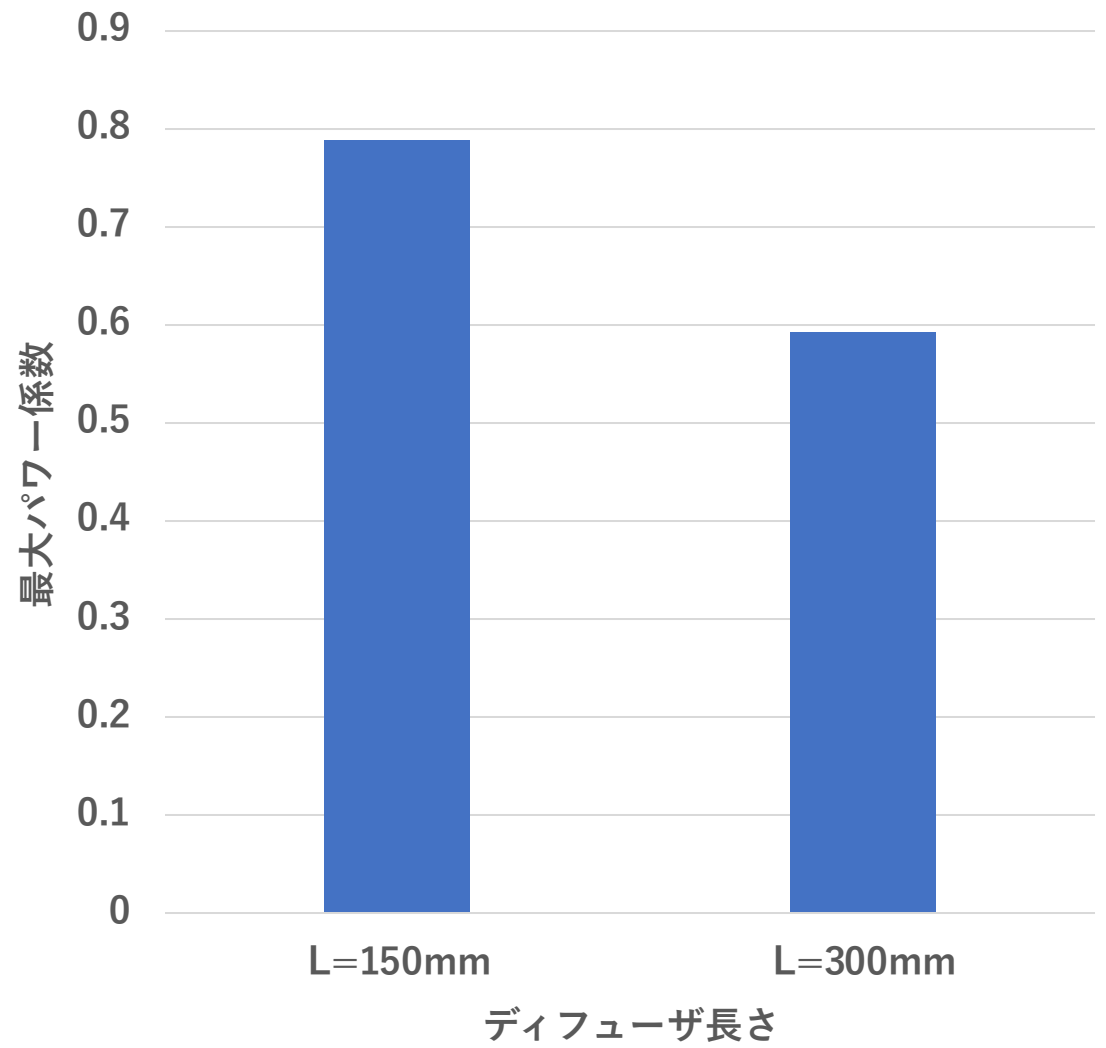
比較③ディフューザ長さL



結果③Lの影響

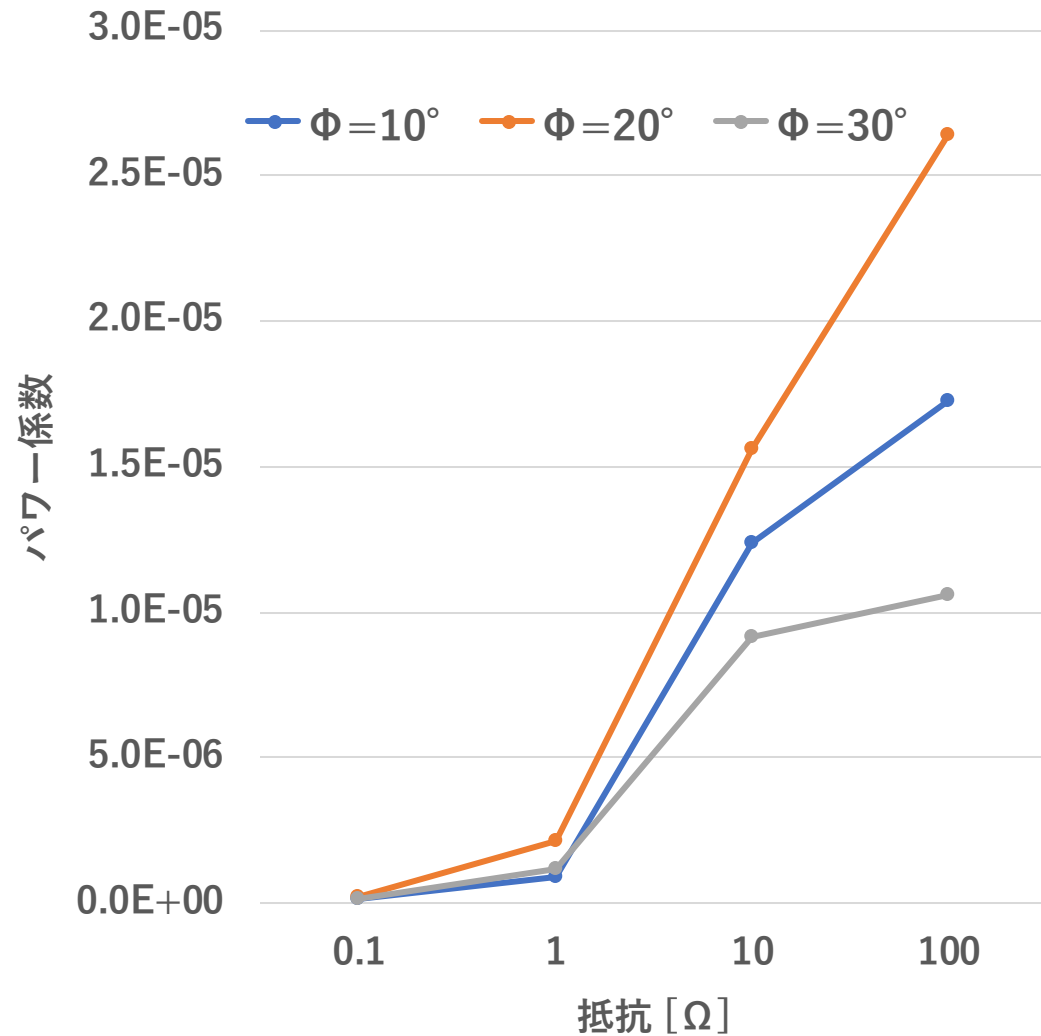


実測値



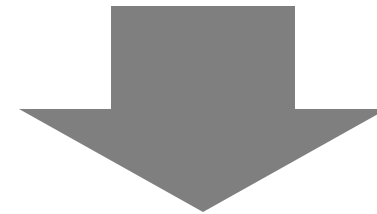
予測値 (平均)

考察



ディフューザ角とパワー係数の関係 (実測値)

$\phi = 30^\circ$ で剥離が発生



$\phi = 20^\circ$ でパワー係数が最大

まとめ

1. 集風装置を**上下**につけた垂直軸型風車を開発した
2. 集風装置を**上下**につけた風車は低周速比（ $\lambda = 0.3$ 付近）において集風装置が**左右**につけた風車より発電効率が**高い**
3. 集風装置を**上下**につけた垂直軸型風車は垂直軸型風車の特長である**無指向性**を持つ
4. 低周速比におけるディフューザ角によるパワー係数の変化は集風装置の位置に関わらず**同じ**である

今後の展望

1. 集風装置と風車の相互的な干渉の可視化
2. 最適周速比でのパワー係数の比較
3. 実用化に向けて検討



風車設置予定地（桃山高校の屋上）

ワークショップについて

9/23（土）桃山高校で小学生向けワークショップを開催



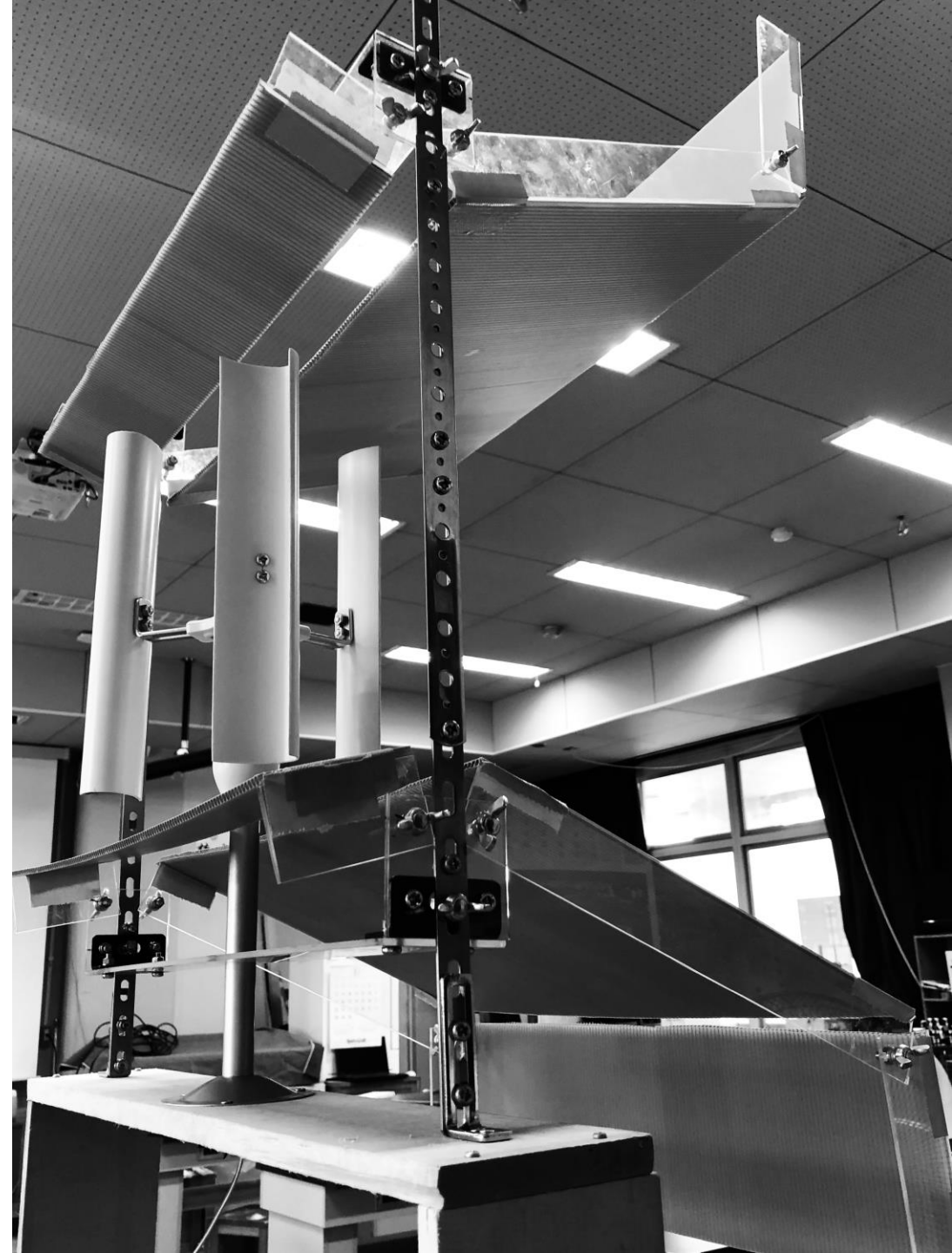
風レンズ・エネルギーに対する関心をもものづくりを通して持ってもらう

参考文献・webサイト

- Koichi Watanabe, Shuhei Takahashi, Yuji Ohya. Application of a Diffuser Structure to Vertical-Axis Wind Turbines. 2016.
- 渡邊 康一, 大屋 裕二, 烏谷 隆. 垂直軸型風車の駆動原理の解明と集風装置の適用による高出力化. 第21回 風工学シンポジウム論文集. 2010.
- Koichi Watanabe, Yuji Ohya. A Simple Theory and Performance Prediction for a Shrouded Wind Turbine with a Brimmed Diffuser. 2021.
- Xiao Hang Wang, Kok Hoe Wong, Wen Tong Chong, Jo Han Ng, Cheng Jun Qiu, Chong Shen Khor. Performance evaluation of a downwind diffuser on vertical axis wind turbine. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH, Volume 46, Issue 1, Special Issue: Sustainable Energy Technologies, Pages 351-369. 2022.
- Ben Geurts, Carlos Simão Ferreira, Gerard van Bussel. Aerodynamic Analysis of a Vertical Axis Wind Turbine in a Diffuser. 2010.
- 高橋 周平, 濱田 純一, 大屋 裕二, 烏谷 隆, 渡辺 公彦. 垂直軸型風車に適した翼型の検討と集風体の適用による出力性能の向上. 2006.
- Yuji Ohya, Takashi Karasudani. A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology. 2010.
- 4-04 日本の部門別二酸化炭素排出量(2021年度). 全国地球温暖化防止活動推進センター.
<https://www.jccca.org/download/65477>. (2023/10/22確認)
- 日本のエネルギー 2021年度版 「エネルギーの今を知る10の質問」. 資源エネルギー庁.
[https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2021/005/#:~:text=A安全性\(Safety\)を,に恵まれない国です%E3%80%82](https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2021/005/#:~:text=A安全性(Safety)を,に恵まれない国です%E3%80%82.). (2023/10/22確認)
- NACA 0024 (naca0024-il). Airfoil Tools. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca0024-il>. (2023/10/22確認)
- 風レンズ風車メカニズム. 株式会社 ウィンドレンズ. <http://windlens.com/風レンズ風車とは/風レンズ風車メカニズム/>. (2023/10/22確認)

水平風レンズ付き 垂直軸風車の開発

京都府立桃山高等学校
グローバルサイエンス部
エネルギー班
藤範翔 若菜朝陽



資料1 S+3Eについて（資源エネルギー庁webページより）



Energy Security（自給率）

東日本大震災前（約20%）を更に上回る
30%程度を2030年度に見込む（2019年度12.1%）

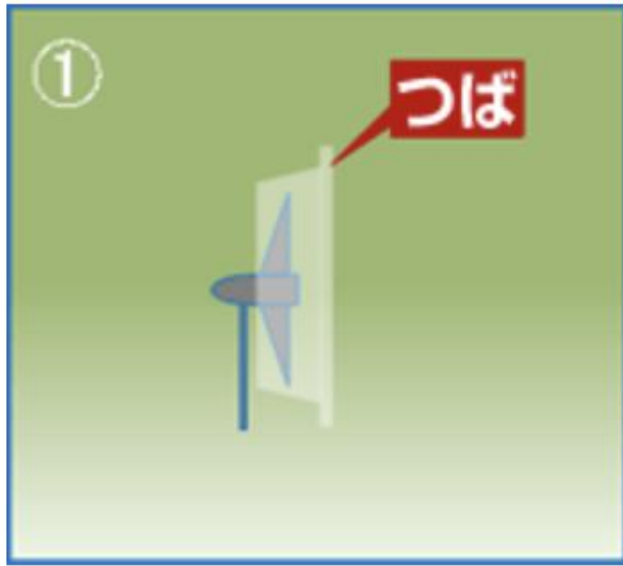
Economic Efficiency（電力コスト）

2013年度の9.7兆円を下回る
2030年度8.6～8.8兆円を見込む

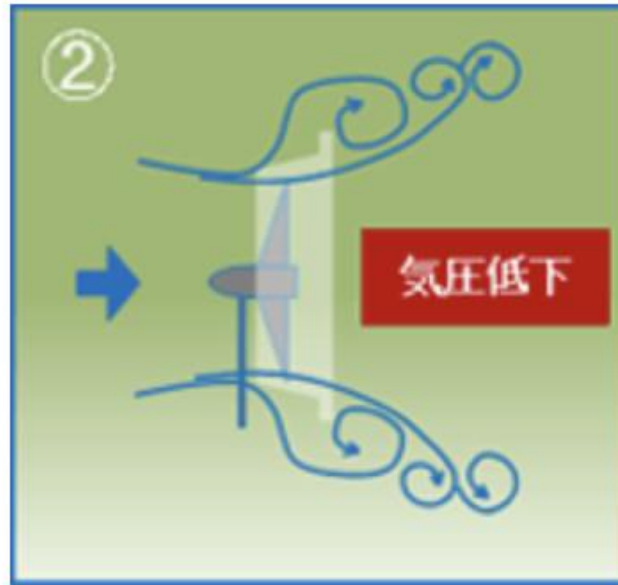
Environment（温室効果ガス排出量）

2050年カーボンニュートラルと統合的で野心的な削減
目標である2030年度に2013年度比▲46%※を見込む

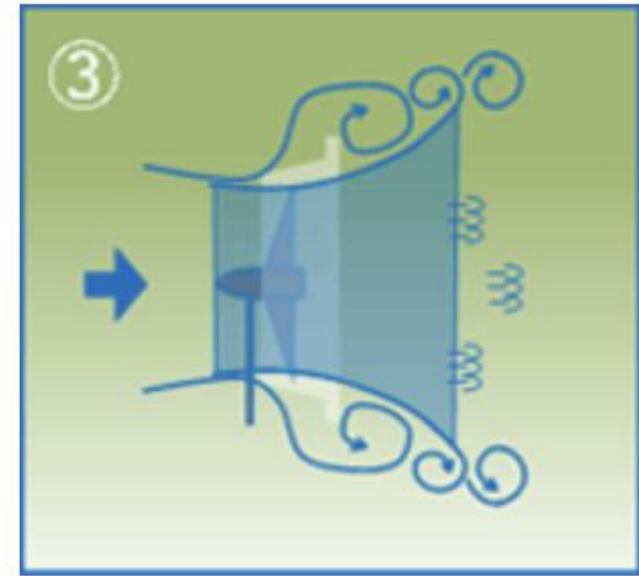
※非エネルギー起源CO₂等を含む温室効果ガス全体での削減目標



- ・ローター周りにダクトを取り付け



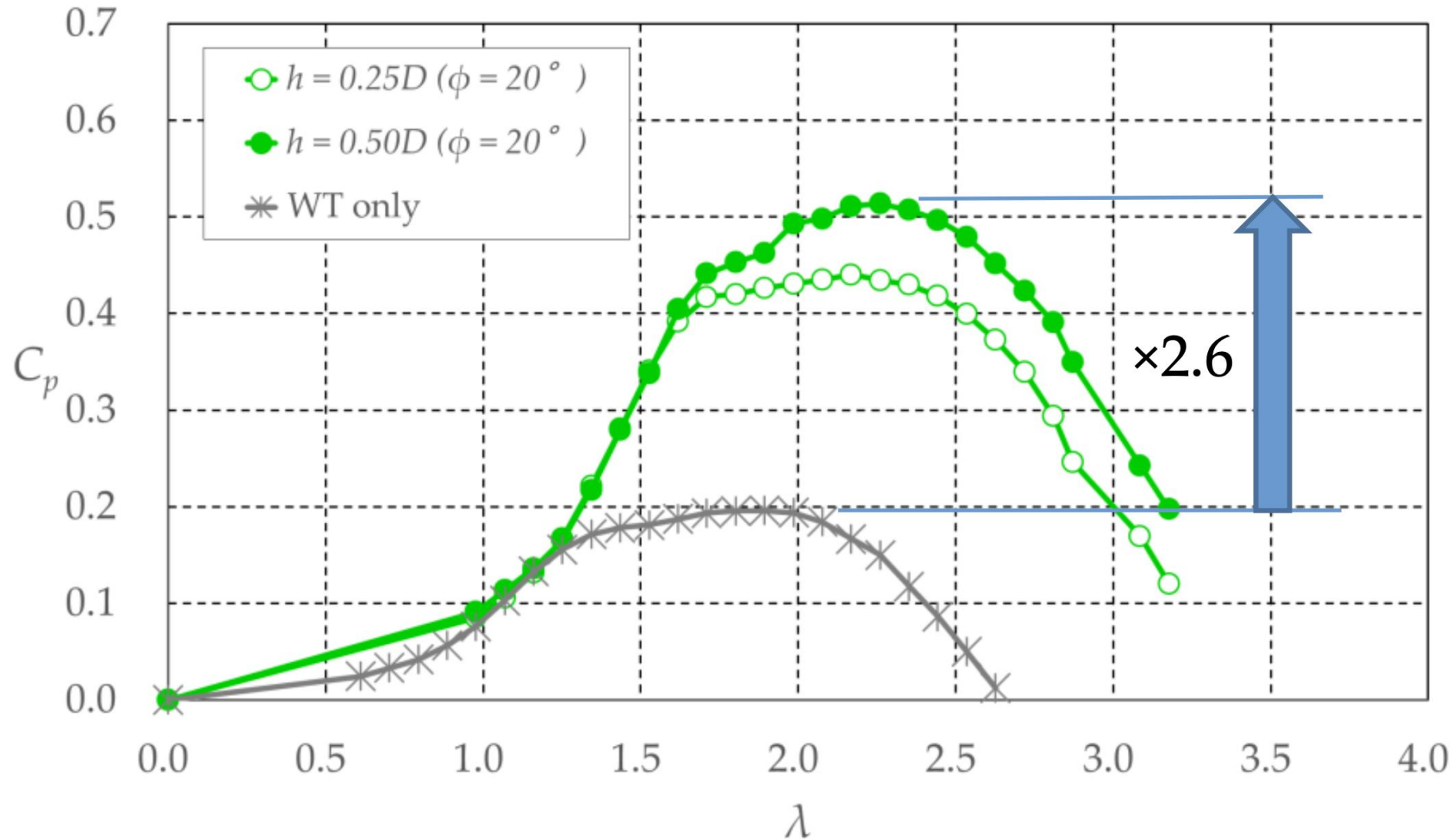
- ・強い渦が発生
- ・渦により、風車後ろの気圧が低下



- ・低い圧力へ風が吸い込まれダクト内の風速が1.3~1.5倍に増速

発電量 P は風車に流入する 風速 V の3乗に比例 ($P \propto V^3$)

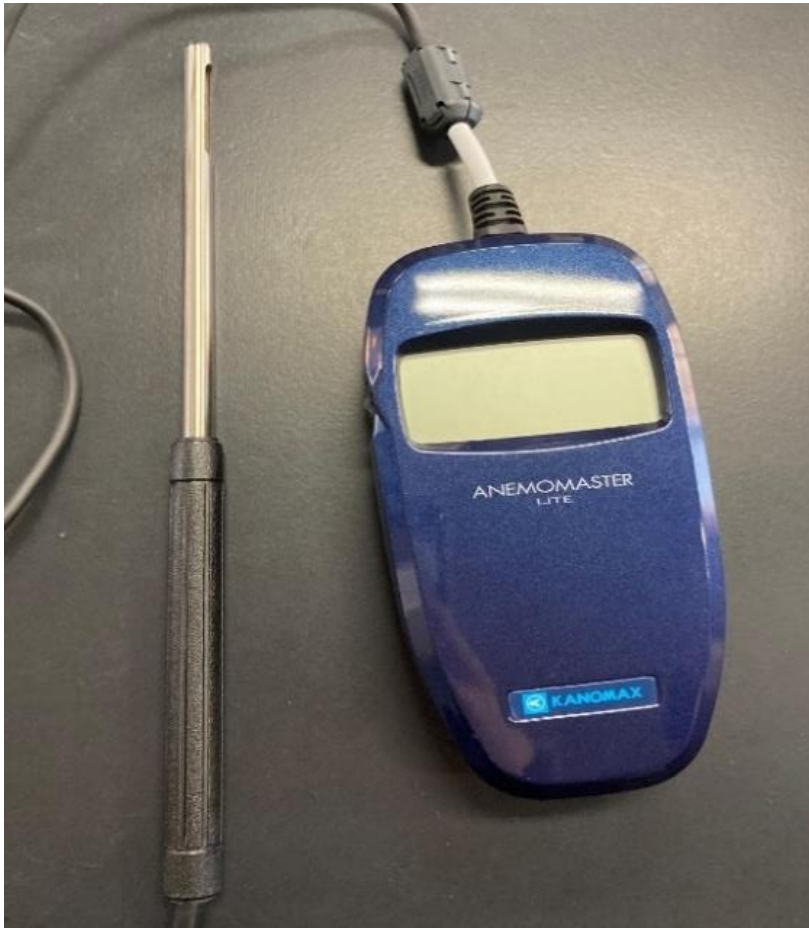
資料 3 左右に集風装置をつけた垂直軸型風車の性能向上



風速計

株式会社 KANOMA 「ANEMOMASTER LITE MODEL 6006-D0」

↓取扱説明書より抜粋



MODEL	6006-D0	
測定対象	常圧・常温の清浄な空気	
測定範囲	風速	0.01~20.0m/s
	風温	-20.0~70.0℃
測定精度	風速	±指示値の5% or 0.02m/sの大きい方
	風温	±1.0℃
温度補償精度	風速	10~40℃の範囲において ±指示値の5% or 0.02m/sの大きい方
表示分解能	風速	0.01~9.99m/s : 0.01m/s (最小) 10.0~20.0m/s : 0.1m/s
	風温	0.1℃
応答性	風速	1秒以下(風速1m/sにおいて90%応答)
	風温	30秒以下(風速1m/sにおいて90%応答)

資料 4 測定機器の性能



送風機

株式会社 スイデン 「こでかファン SJF-504A-1」

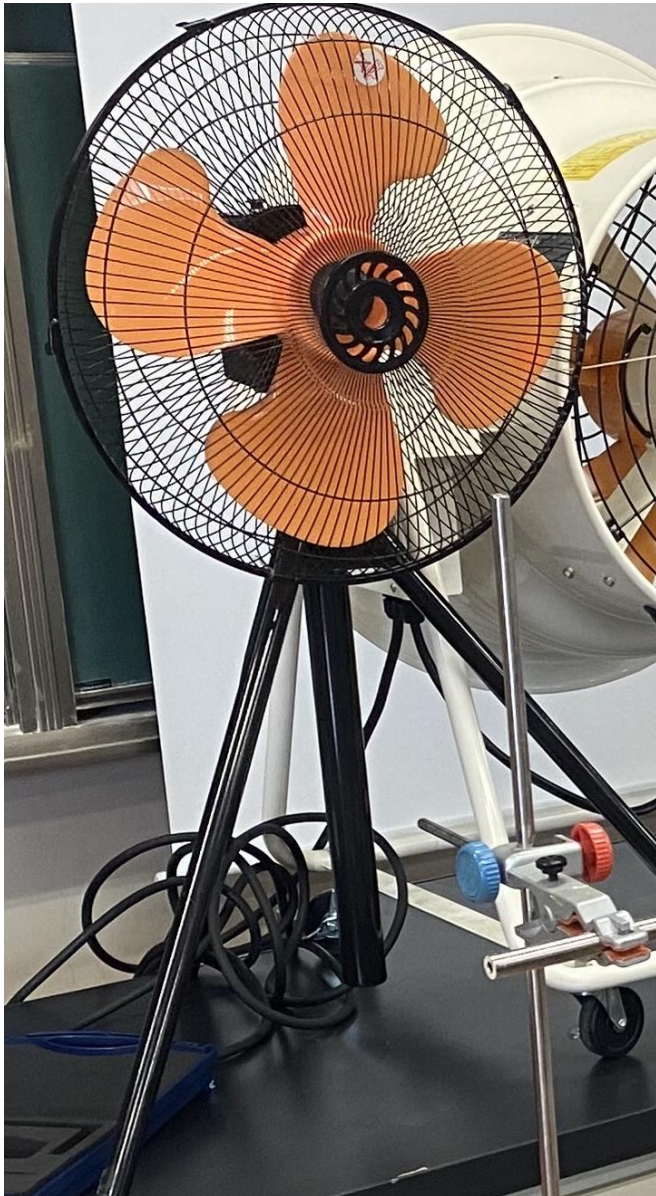
Suiden こでかファン 低騒音
SJF-504A-1

電 圧	100V	電動機出力	0.2kW 6P
消費電力	120/180W	ハネ外径	500mm
周波数	50/60Hz	風 量	140/176m ³ /min
使用場所	屋内用	製造番号	2000170

PS E 株式会社 スイデン

MADE IN JAPAN 1219901000

資料4 測定機器の性能



送風機

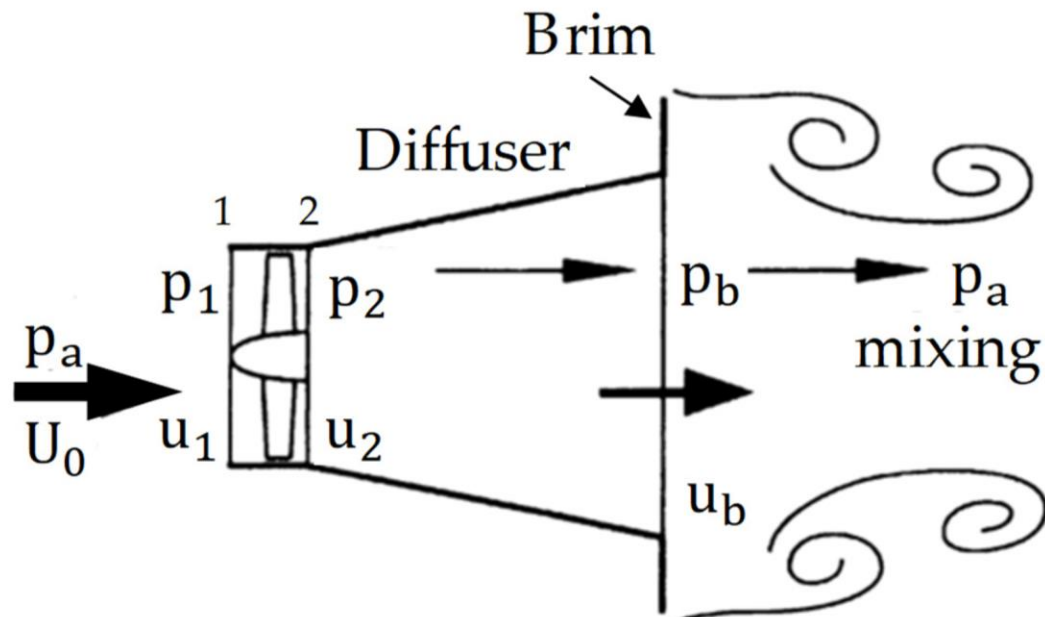
アイリスオーヤマ株式会社 工業用扇風機
三脚型 KF-431S



渡邊 (2021) の性能予測理論を垂直軸型風車用に変形した

$$C_{p,max} = \sqrt{\frac{4(1-C_{pb})^3}{27(1-C_{pd})}} \quad C_{pb} = \frac{2(P_b - P_a)}{\rho U_0^2}, \quad C_{pd} = \frac{2(P_b - p_2)}{\rho U_1^2}$$

(最大パワー係数)



最大パワー係数の予測に必要な数値

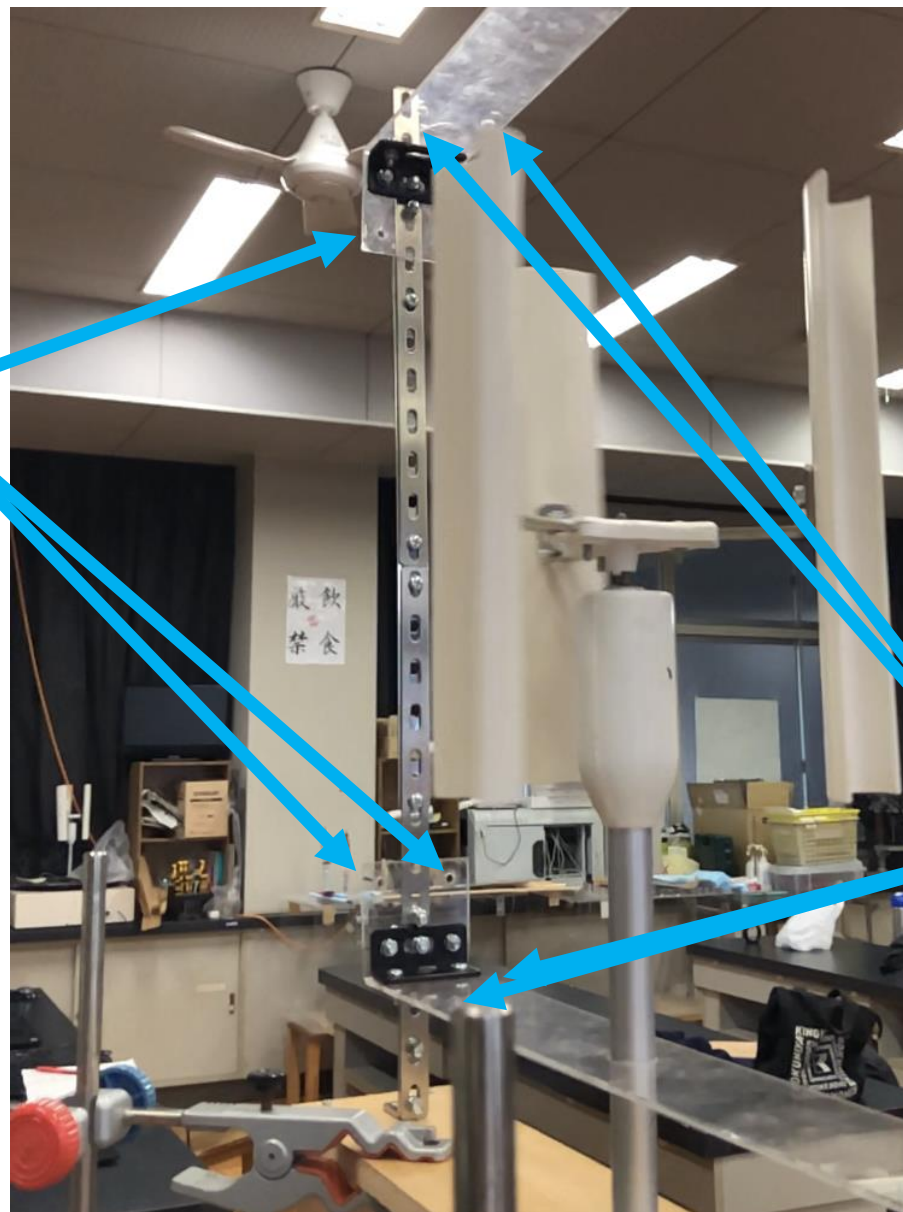
- U_0
- u_1
- p_a
- p_2
- p_b

渡邊(2021)より引用

Figure 5. Configuration of wind turbine with brimmed diffuser.

資料 6 実験装置の構造

上下に集風装置を
つけるときに使う
ネジ穴



左右に集風装置を
つけるときに使う
ネジ穴

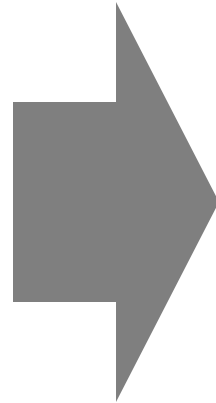
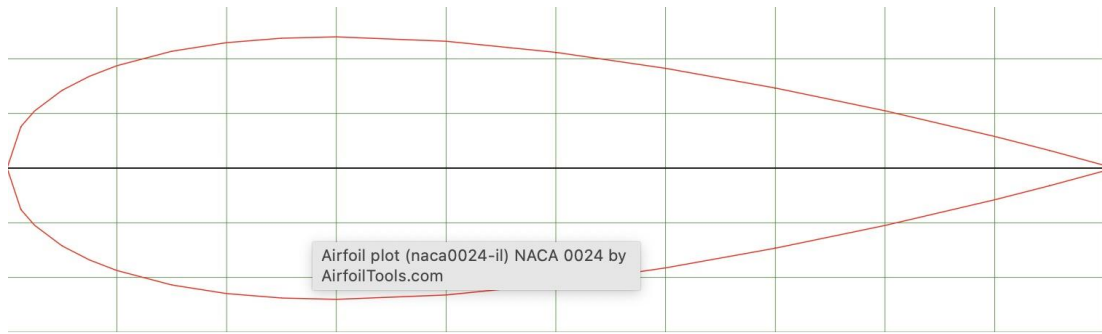
資料 6 実験装置の構造



集風装置とフレームの接合部分

資料7 風力発電機のブレード（翼）について

回転始動せず



プロトタイプにおける自作ブレードの形状

実験に使用したブレード

資料 8 集風装置の位置と風車性能 実験データ

周速比

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
集風装置なし	0.31	0.29	0.32	0.30
集風装置左右	0.32	0.31	0.31	0.33
集風装置上下	0.36	0.35	0.31	0.33

パワー係数

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
集風装置なし	1.0E-08	6.3E-08	5.0E-07	1.6E-06
集風装置左右	4.0E-08	8.3E-07	3.1E-06	9.5E-06
集風装置上下	1.1E-07	1.4E-06	7.5E-06	1.4E-05

資料9 集風装置の風に対する角度と風車性能 実験データ

周速比

集風装置上下

	0.1	1	10	100
-180	0.29	0.27	0.27	0.28
-150	0.28	0.26	0.27	0.26
-120	0.28	0.29	0.30	0.29
-90	0.29	0.29	0.29	0.29
60	0.27	0.29	0.28	0.29
-30	0.26	0.23	0.23	測定不能
0	0.36	0.35	0.31	0.31
30	0.36	0.35	0.37	0.37
60	0.33	0.32	0.32	0.34
90	0.26	0.26	0.25	0.26
120	0.26	0.24	0.25	0.24
150	0.25	0.26	0.27	0.27
180	0.29	0.27	0.27	0.28

集風装置左右

	0.1	1	10	100
-180	0.30	0.30	0.30	0.30
-150	0.60	0.61	0.59	0.57
-120				
-90				
60				
-30				
0	0.32	0.31	0.31	0.33
30	0.40	0.54	0.54	0.62
60	0.51	0.51	0.56	0.59
90				
120				
150				
180	0.30	0.30	0.30	0.30

(赤いセルは回転始動しなかったことを示す)

資料 9 集風装置の風に対する角度と風車性能 実験データ

パワー係数

集風装置上下

	0.1Ω	1Ω	10Ω	100Ω
-180	1.4.E-08	1.0.E-07	1.5.E-06	5.7.E-06
-150	2.3.E-08	4.5.E-08	8.5.E-07	6.4.E-06
-120	2.4.E-08	7.4.E-07	7.3.E-06	1.3.E-05
-90	1.7.E-08	1.7.E-07	1.2.E-06	7.7.E-06
60	2.8.E-08	3.4.E-07	1.5.E-06	5.6.E-06
-30	4.7.E-09	1.1.E-09	4.5.E-09	測定不能
0	1.1.E-07	1.4.E-06	7.5.E-06	1.4.E-05
30	5.5.E-09	3.4.E-06	1.6.E-05	4.2.E-05
60	2.9.E-07	3.7.E-06	1.6.E-05	2.8.E-05
90	1.6.E-09	1.7.E-08	2.9.E-08	8.9.E-07
120	1.2.E-09	1.5.E-08	2.1.E-07	2.9.E-06
150	5.1.E-09	7.7.E-08	5.9.E-07	4.3.E-06
180	1.4.E-08	1.0.E-07	1.5.E-06	5.7.E-06

集風装置左右

	0.1Ω	1Ω	10Ω	100Ω
-180	1.3.E-07	2.4.E-07	3.4.E-06	1.0.E-05
-150	2.1.E-05	2.3.E-04	8.4.E-04	2.4.E-04
-120				
-90				
60				
-30				
0	4.0.E-08	8.3.E-07	3.1.E-06	9.5.E-06
30	1.1.E-05	1.3.E-04	5.3.E-04	5.1.E-04
60	3.6.E-06	2.8.E-05	2.5.E-04	3.1.E-04
90				
120				
150				
180	1.3.E-07	2.4.E-07	3.4.E-06	1.0.E-05

(赤いセルは回転始動しなかったことを示す)

資料 1 0 集風装置の形状と風車性能 実験データ

周速比

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
Φ = 10°	0.29	0.31	0.29	0.32
Φ = 20°	0.31	0.35	0.35	0.34
Φ = 30°	0.32	0.35	0.33	0.33

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
h=65.5mm	0.30	0.33	0.33	0.32
h=131mm	0.29	0.31	0.29	0.32

	0.10	1.00	10.00	100.00
L=150mm	0.33	0.32	0.35	0.32
L=300mm	0.29	0.31	0.29	0.32

パワー係数

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
Φ = 10°	1.3E-07	9.0E-07	1.2E-05	1.7E-05
Φ = 20°	2.2E-07	2.1E-06	1.6E-05	2.6E-05
Φ = 30°	1.8E-07	1.2E-06	9.2E-06	1.1E-05

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
h=65.5mm	1.5E-07	1.5E-06	9.6E-06	5.0E-05
h=131mm	1.3E-07	9.0E-07	1.2E-05	5.3E-05

	0.1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω
L=150mm	1.4E-07	2.2E-06	1.7E-05	1.2E-05
L=300mm	1.3E-07	9.0E-07	1.2E-05	1.7E-05